

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA DE UNA COMUNIDAD DENTRO DE UN
ÁREA NATURAL PROTEGIDA EN EL SUROESTE DE ZACATECAS**

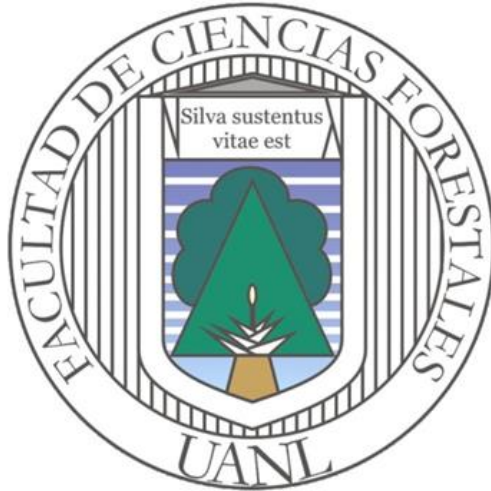
POR

BIÓL. ARIEL ARMANDO DELGADILLO ESCOBAR

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

FEBRERO, 2020

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**



**ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA DE UNA COMUNIDAD DENTRO DE UN
ÁREA NATURAL PROTEGIDA EN EL SUROESTE DE ZACATECAS**

POR

BIÓL. ARIEL ARMANDO DELGADILLO ESCOBAR

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

DIRECTOR DE TESIS

DR. EDUARDO JAVIER TREVIÑO GARZA

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO

FEBRERO, 2020

ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA DE UNA COMUNIDAD DENTRO DE UN ÁREA
NATURAL PROTEGIDA EN EL SUROESTE DE ZACATECAS

APROBACIÓN DE TESIS

DR. Eduardo Javier Treviño Garza
Director

Dr. Eduardo Alanís Rodríguez
Codirector

Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón
Codirector

FEBRERO 2020

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León (FCFUANL) por la excelente formación académica y el apoyo recibido durante mi formación en el programa de maestría.

Al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), por facilitar información ráster (imágenes satelitales) del área de estudio.

A los integrantes de mi comité. Al Dr. Eduardo Javier Treviño Garza por su dirección y apoyo durante la realización de este trabajo. Al Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón por sus clases siempre de gran utilidad para mi formación, durante la estancia en esta facultad y en la elaboración de este trabajo. Al Dr. Eduardo Alanís Rodríguez.

Agradezco especialmente a Emmeth J. Rodríguez Pérez, por su invaluable apoyo durante las temporadas de campo y la determinación de las especies vegetales que contribuyen ampliamente al capítulo 5 de esta tesis.

A las personas que revisaron el texto de esta tesis y la complementaron con sus comentarios y sugerencias: Dr. Ramón Trucios Canciano, Dr. Pablo Antúnez, Dr. Rigoberto González Cubas.

A todas las personas que tuvieron tiempo y disponibilidad durante las temporadas de campo: Gris, Emmeth, Barbarita, David, Víctor, Arturo, Andrea, Manuel.

A los habitantes de la comunidad El Chiquihuite, por brindar su tiempo y disposición para el trabajo de campo efectuado para la realización de esta tesis.

DEDICATORIA

A mi mamá, Martha y a mis hermanos, Marco y José Ángel.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes.....	3
1.2.1. Áreas Naturales Protegidas	3
1.2.2. Cambio de uso de suelo.....	6
1.2.3. Zonificación ecológica	8
1.3. Justificación	9
1.4. Hipótesis	10
1.5. Objetivo del trabajo	11
1.5.1. Objetivo general	11
1.5.2. Objetivos particulares.....	11
2. DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE LA VEGETACIÓN INVENTARIO FORESTAL Y SU ANÁLISIS	12
2.1. Resumen	12
2.2. Introducción	12
2.3. Materiales y Métodos.....	15
2.3.1 Localización y descripción del área de estudio	15
2.3.2 Sitios de muestreo.....	16
2.4. Resultados.....	19
2.5. Discusión	26
3. ANÁLISIS DE IMÁGENES LANDSAT PARA EVALUAR EL CAMBIO DE LA VEGETACIÓN A TRAVÉS DEL TIEMPO	29
3.1. Resumen	29
3.2. Introducción	30
3.2.1 Percepción Remota.....	30
3.2.2. Clasificación de imágenes.....	32
3.3. Materiales y Métodos.....	36
3.3.1. Adquisición de los datos.....	36
3.3.2. Preprocesamiento de imágenes Landsat	39
3.3.3. Clasificación para la detección de cambios.....	40
3.3.4. Índices de Vegetación	41
3.3.5. Evaluación de la Precisión	42

3.3.6.	Diseño del muestreo	44
3.3.7.	Determinación del tamaño de la muestra.....	44
3.3.8.	Diseño de respuesta	45
3.3.9.	Análisis	47
3.3.10.	Estimación del área a partir de la matriz de error.....	48
3.3.11.	Interpretación de los resultados	48
3.4.	Resultados.....	49
4.	ANÁLISIS DE LA TASA DE TRANSFORMACIÓN DEL HÁBITAT EN LA COMUNIDAD EL CHIQUEHUITO	80
4.1.	Resumen	80
4.2.	Introducción	81
4.3.	Material y Métodos	82
4.4.	Resultados y discusión	83
5.	DETERMINACIÓN DE LA DIVERSIDAD FLORÍSTICA DE LA COMUNIDAD 91	
5.1.	Resumen	91
5.2.	Introducción	92
5.3.	Material y Métodos	93
5.4.	Resultados.....	94
6.	PROPUESTA DE ZONIFICACIÓN.....	99
6.1.	Resumen	99
6.2.	Introducción	100
6.3.	Material y Métodos	102
6.4.	Resultados.....	103
6.5.	Discusión	113
7.	CONCLUSIONES.....	114
8.	BIBLIOGRAFÍA	115

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI del conglomerado fuera del ANP.....	19
Tabla 2. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI del conglomerado dentro del ANP.....	20
Tabla 3. Comparación entre el número de individuos (# ind), número de individuos por hectárea (N/ha) y área basal por hectárea (m ² /ha) entre los dos conglomerados.	21
Tabla 4. Índices de diversidad y riqueza de especies del muestreo por conglomerados con los límites superior e inferior para un intervalo de confianza del 95%.....	21
Tabla 5. Índice de diversidad Beta de Whittaker del muestreo por conglomerados.	22
Tabla 6. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI de los sitios de muestreo fuera del ANP.....	23
Tabla 7. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI de los sitios de dentro del ANP.....	24
Tabla 8. Comparación entre el número de individuos (# ind), número de individuos por hectárea (N/ha) y área basal por hectárea (m ² /ha) entre los dos conglomerados.	25
Tabla 9. Índices de diversidad y riqueza de especies del muestreo por sitios de 1000 m ² con los límites superior e inferior para un intervalo de confianza del 95%.....	25
Tabla 10. Índice de diversidad Beta de Whittaker del muestreo por sitios de 1000 m ²	26
Tabla 11. Detalles de las imágenes Landsat y parámetros utilizados para el análisis del cambio en la cobertura del uso del suelo.	38
Tabla 12. Categorías de Uso de Suelo.	39
Tabla 13. Clases respectivas a cada categoría de uso del suelo.	42
Tabla 14. Matriz de error de la clasificación del mapa de 1978.	50
Tabla 15. Precisión de la clasificación del mapa de 1978.....	52
Tabla 16. Error estándar e intervalos de confianza de los muestreos aleatorios para el mapa de 1978 en píxeles.	52
Tabla 17. Matriz de error de la clasificación del mapa de 1993.	53
Tabla 18. Precisión de la clasificación del mapa de 1993.....	55
Tabla 19. Error estándar e intervalos de confianza de los muestreos aleatorios para el mapa de 1993 en píxeles.	55
Tabla 20. Matriz de error de la clasificación del mapa del año 2000.	57
Tabla 21. Precisión de la clasificación del mapa de 2000.....	58

Tabla 22. Error estándar e intervalos de confianza de los muestreos aleatorios para el mapa de 2000 en píxeles.	58
Tabla 23. Matriz de error de la clasificación del mapa del año 2005.	60
Tabla 24. Precisión de la clasificación del mapa de 2005.....	61
Tabla 25. Error estándar e intervalos de confianza de los muestreos aleatorios para el mapa de 2005 en píxeles.	61
Tabla 26. Matriz de error de la clasificación del mapa del año 2010.	63
Tabla 27. Precisión de la clasificación del mapa de 2010.....	64
Tabla 28. Error estándar e intervalos de confianza de los muestreos aleatorios para el mapa de 2010 en píxeles.	64
Tabla 29. Matriz de error de la clasificación del mapa de 2017.	66
Tabla 30. Precisión de la clasificación del mapa de 2017.....	67
Tabla 31. Error estándar e intervalos de confianza de los muestreos aleatorios para el mapa de 2017.....	67
Tabla 32. Matriz de error de la clasificación del mapa de cambio de uso de suelo 1978-2017.	69
Tabla 33. Precisión de la clasificación del mapa de cambio de uso de suelo 1978-2017.....	70
Tabla 34. Error estándar e intervalos de confianza de los muestreos aleatorios para el de cambio de uso de suelo 1978-2017 en píxeles.	70
Tabla 35. Matriz de cambio de uso de suelo de 1978 a 1993 en la comunidad el Chiquihuite.....	71
Tabla 36. Matriz de cambio de uso de suelo de 1993 a 2000 en la comunidad el Chiquihuite.....	72
Tabla 37. Matriz de cambio de uso de suelo de 2000 a 2005 en la comunidad el Chiquihuite.....	72
Tabla 38. Matriz de cambio de uso de suelo de 2005 a 2010 en la comunidad el Chiquihuite.....	73
Tabla 39. Matriz de cambio de uso de suelo de 2010 a 2017 en la comunidad el Chiquihuite.....	74
Tabla 40. Matriz de cambio de uso de suelo de 1978 a 2017 en la comunidad el Chiquihuite.....	75
Tabla 41. Matriz de cambio de uso de suelo de 1978 a 2017 en la porción del ANP dentro de la comunidad el Chiquihuite..	84
Tabla 42. Matriz de cambio de uso de suelo de 1978 a 2017 en la comunidad El Chiquihuite sin considerar el área del ANP.....	86
Tabla 43. Tabulación cruzada, superficie de cambio de uso de suelo (píxeles). Comunidad El Chiquihuite entre 1978 y 2017.....	88
Tabla 44. Listado de especies presentes en la comunidad El Chiquihuite..	94
Tabla 45. Resumen de la diversidad florística de la comunidad el Chiquihuite.	96
Tabla 46. Área en ha por cada zona.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio (Elaboración propia en QGIS 3.3).....	16
Figura 2. Forma y tamaño de los sitios de muestreo (Tomado de CONAFOR, 2014).....	17
Figura 3. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI del conglomerado fuera del ANP (elaboración propia).....	19
Figura 4. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI del conglomerado dentro del ANP (elaboración propia).....	20
Figura 5. Gráficas de los Índices de diversidad y riqueza de especies del muestreo por conglomerados con los límites superior e inferior para un intervalo de confianza del 95% (Elaboración propia utilizando PAST 3.21).....	22
Figura 6. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI de los sitios de muestreo fuera del ANP (elaboración propia).....	23
Figura 7. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI de los sitios de muestreo dentro del ANP (elaboración propia).....	24
Figura 8. Gráficas de los Índices de diversidad y riqueza de especies del muestreo por sitios de 1000 m2 con los límites superior e inferior para un intervalo de confianza del 95% (Elaboración propia utilizando PAST 3.21).....	26
Figura 9. Línea del tiempo de los satélites del programa Landsat lanzados desde 1972 hasta la fecha. Se considera la próxima misión Landsat prevista para el 2020. Se indican las misiones sin contratiempos (gris) y aquellas que tuvieron un malfuncionamiento (naranja) o que no se pudieron poner en órbita (rojo) (Elaboración propia con información de las misiones Landsat).....	32
Figura 10. Flujo de trabajo de la clasificación supervisada para este trabajo (elaboración propia).....	41
Figura 11. Flujo de trabajo para realizar la evaluación de la exactitud. Modificado de (FAO, 2016).....	43
Figura 12. Ejemplo de matriz de error (elaboración propia basado en Congalton & Green, 2010).	48
Figura 14. Uso de suelo en 1978 de la Comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia en QGIS 3.3).	50
Figura 15. Estimación de áreas a partir de la clasificación mediante diseños de muestreo aleatorio simple y estratificado (1978) (Intervalo de confianza del 95%).	51
Figura 16. Uso de suelo en 1993 de la Comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia en QGIS 3.3).	53
Figura 17. Estimación de áreas a partir de la clasificación mediante diseños de muestreo aleatorio simple y estratificado (1993) (Intervalo de confianza del 95%).	54
Figura 18. Uso de suelo en 2000 de la Comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia en QGIS 3.3).	56
Figura 19. Estimación de áreas a partir de la clasificación mediante diseños de muestreo aleatorio simple y estratificado (2000) (Intervalo de confianza del 95%).	57
Figura 20. Uso de suelo en 2005 de la Comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia en QGIS 3.3).	59
Figura 21. Estimación de áreas a partir de la clasificación mediante diseños de muestreo aleatorio simple y estratificado (2005) (Intervalo de confianza del 95%).	60

Figura 22. Uso de suelo en 2010 de la Comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia en QGIS	62
Figura 23. Estimación de áreas a partir de la clasificación mediante diseños de muestreo aleatorio simple y estratificado (2010) (Intervalo de confianza del 95%).	63
Figura 24. Uso de suelo en 2017 de la Comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia en QGIS 3.3).	65
Figura 25. Estimación de áreas del mapa de 2017 a partir de la clasificación mediante diseños de muestreo aleatorio simple y estratificado (Intervalo de confianza del 95%).	66
Figura 26. Cambio de uso del suelo en El Chiquihuite de 1978-2017 (Elaboración propia en QGIS 3.3).....	68
Figura 27. Estimación de áreas del mapa de cambio de uso de suelo a partir de la clasificación mediante diseños de muestreo aleatorio simple y estratificado (Intervalo de confianza del 95%).	69
Figura 28. Cambio de uso de suelo por cobertura en El Chiquihuite en el periodo 1978-2017 (elaboración propia).	75
Figura 29. Superficie en hectáreas por cada categoría de cobertura de uso del suelo durante el período de estudio (elaboración propia).	76
Figura 30. Área ocupada en ha para cada categoría de cobertura de uso del suelo durante el período de estudio (elaboración propia).	77
Figura 31. En la figura A) se observa la comunidad El Chiquihuite en 1997 y sus áreas de pastizal; B) El Chiquihuite en 2016 en imagen de Google Earth; C) área de bosque de encino en 1997; D) Área de bosque de encino vista en imagen de Google Earth de 2016. Se aprecia una mayor densidad en la imagen reciente.	78
Figura 32. En la figura A) se observa la comunidad El Chiquihuite en 1997 área de matorral; B) El Chiquihuite en 2016 en imagen de Google Earth donde se percibe el cambio de uso de suelo a área de cultivo.	79
Figura 33. Cambio de uso de suelo de 1978 a 2017 dentro de la porción del ANP dentro de la comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia).	84
Figura 34. Uso del suelo en El Chiquihuite en la porción del ANP en 1978 (1667.29 ha) (Elaboración propia en QGIS 3.3).	85
Figura 35. Uso del suelo en El Chiquihuite en la porción del ANP en 2017 (1667.29 ha) (Elaboración propia en QGIS 3.3).	85
Figura 36. Cambio de uso de suelo de 1978 a 2017 dentro de la comunidad El Chiquihuite sin considerar la porción de ANP (Elaboración propia).....	87
Figura 37. Uso del suelo en El Chiquihuite en 1978 sin considerar el área del ANP (7651.31 ha) (Elaboración propia en QGIS 3.3).	87
Figura 38. Uso del suelo en El Chiquihuite en 2017 sin considerar el área del ANP (7651.31 ha) (Elaboración propia en QGIS 3.3).	88
Figura 39. Cambio de uso de suelo de 1978 a 2017 dentro de la porción del ANP dentro de la comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia).	89
Figura 40. Inflorescencia de <i>Salix jaliscana</i> (Fotografía por EJRP).	97
Figura 41. Hojas de <i>Salix jaliscana</i> (Fotografía por EJRP).	98

RESUMEN

El Área Natural Protegida “Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 043 Estado de Nayarit” tiene una porción sustancial dentro del Estado de Zacatecas y es una región con prioridad alta para la conservación de los recursos naturales. En el municipio de Susticacán, se encuentra la comunidad El Chiquihuite, parcialmente dentro del ANP y formando parte del área de influencia de esta. La comunidad tiene ecosistemas vegetales diversos en los que se tiene presencia de especies de flora y fauna con importancia ecológica, social y económica. Se realizó la caracterización ecológica de la comunidad a través de muestreos en campo con el propósito de evaluar el estado de la vegetación en la comunidad, tanto dentro del ANP como afuera de esta. Para esto, se calcularon los parámetros de frecuencia, dominancia y densidad e Índice de Valor de Importancia. De acuerdo con estos datos, la superficie que pertenece al ANP tiene una mayor densidad arbórea así como una mayor biodiversidad que la superficie que no forma parte del ANP, dominando los géneros *Quercus* y *Juniperus*. En el área de estudio se realizó un muestreo con el fin de conocer la diversidad vegetal de la comunidad, lo que resultó en la determinación de 95 especies diferentes, pertenecientes a 68 géneros, 48 familias y 4 grupos. Para realizar un análisis multitemporal del cambio de coberturas vegetales dentro de la comunidad y obtener tasas de transformación del hábitat, se utilizaron imágenes satelitales de las misiones Landsat para evaluar la eficacia del establecimiento del ANP a través del tiempo. Se propone un esquema de zonificación de la comunidad, presentando áreas para actividades productivas, áreas para la protección, la conservación y la restauración.

ABSTRACT

The Natural Protected Area "Feeding Basin of the National Irrigation District 043 Nayarit State" has a limited amount within the State of Zacatecas and it is a region with high priority for the conservation of natural resources. In the municipality of Susticacán, there is the El Chiquihuite community, partially within the NPA and forming part of its area of influence. The community has diverse plant ecosystems in which it has a presence of species of flora and fauna with ecological, social and economic importance. The ecological characterization of the community was carried out through field sampling for the purpose of assessing the state of vegetation in the community, both inside and outside the NPA. For this, the parameters of frequency, dominance and density and Importance Value Index are calculated. According to these data, the surface belonging to the NPA has a higher tree density, as well as a greater biodiversity than the surface that is not part of the NPA, dominating the *Quercus* and *Juniperus* genera. In the study area, a sampling was carried out in order to know the vegetation diversity, which resulted in the determination of 95 different species, belonging to 68 genera, 48 families and 4 groups. To perform a multitemporal analysis of the change of land cover within the community and obtain habitat transformation rates, satellite images of Landsat missions were used to assess the effectiveness of the establishment of the NPA over time. A community zoning scheme is proposed, presenting areas for productive, protection, conservation and restoration activities.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Introducción

Más del 50% del territorio nacional es de propiedad social, bajo la figura de ejidos y comunidades, siendo un caso único en el mundo (Lozano, 2012; Madrid, Núñez, Quiroz, & Rodríguez, 2009), ambas tienen personalidad jurídica y patrimonio propios y son consideradas en la normatividad ambiental en temas tan importantes como la formulación, aprobación, expedición, evaluación y modificación de los Programas de Ordenamiento Ecológico locales y las Áreas Naturales Protegidas (ANP). Esto conforma una base para la gobernanza de asuntos concretos, como el cuidado y la explotación racional de bosques, cuyos efectos en el ambiente, se extienden más allá de la propiedad social (Lozano, 2012).

A la fecha existen comunidades rurales que se encuentran total o parcialmente dentro de las superficies de ANP, estas, decretadas en algunos casos bajo un criterio de conservación basado en el establecimiento de vedas permanentes sobre el uso de los recursos forestales (Secretaría de Agricultura y Ganadería, 1949), carecen de planes de manejo, lo que dificulta los monitoreos y evaluaciones de su efectividad (CONANP, s/f-b).

La importancia de adoptar instrumentos de planeación del territorio utilizando información actual y transparente sobre el estado de sus recursos naturales con el fin de realizar un manejo ordenado y sustentable de los mismos, parte de la consideración de la relación social, económica y ecológica tan estrecha que se da entre los habitantes de una comunidad en relación con una ANP (Domínguez-Cervantes, 2009). Parte de esta información puede generarse utilizando productos digitales gratuitos (e. g. imágenes de satélite, cartografía, programas de libre acceso) mediante el uso técnicas para el procesamiento de estos.

El objetivo perseguido fue evaluar el estado de los recursos forestales en una comunidad del suroeste de Zacatecas, y valorar la eficacia del decreto de ANP en cuanto a la protección de estos recursos mediante el análisis multitemporal de imágenes satelitales. A partir de la información generada se realizó una propuesta para determinar zonas óptimas para el aprovechamiento, la conservación, la protección y la restauración de sus recursos naturales. Este esfuerzo va encaminado a una adopción de metodologías de bajo costo que sirvan como insumo para la valoración técnica de los recursos y la evaluación de la efectividad de las ANP y el conocimiento de su territorio.

- En el capítulo I se abordan aspectos generales sobre las ANP, el cambio de uso de suelo y técnicas recientes para monitorear estos cambios mediante el uso de imágenes satelitales.
- En el capítulo II se realiza una evaluación del estado de la vegetación a partir de datos recolectados en campo, lo que da una visión general sobre el estado de sus recursos forestales.
- En el capítulo III se realiza un análisis multitemporal de imágenes Landsat para determinar el cambio en la cobertura forestal a través del tiempo, considerando el decreto de ANP.
- El capítulo IV presenta un análisis sobre la tasa de transformación del hábitat a través del tiempo.
- El capítulo V presenta un listado de la flora de la localidad, determinaciones a nivel de especie y permitiendo determinar la diversidad Alfa presente en la comunidad.
- El capítulo VI presenta una propuesta de zonificación para la comunidad, con base en la información obtenida y procesada anteriormente.

1.2. Antecedentes

1.2.1. Áreas Naturales Protegidas

Las ANP sirven para la preservación de servicios ecosistémicos como el suministro de agua, regulación climática, formación del suelo, así como para proteger valores recreacionales y escénicos. Su rol principal es el de separar los elementos de la biodiversidad de aquellos procesos que amenazan su existencia en la naturaleza, y contar con eficacia en el mantenimiento de la integridad de los ecosistemas y minimizar la pérdida de esta biodiversidad (Balmford et al., 2002; Margules & Pressey, 2000; Pressey et al., 2014).

Actualmente, existen más de 200,000 ANP a nivel mundial, en una extensión mayor a 30,000,000 km². Esta extensión equivale a la protección del 3.41% de la cobertura marina y el 14% de la cobertura terrestre total (Deguignet et al., 2014).

Enmarcado dentro del convenio sobre diversidad biológica, se espera una expansión importante de las ANP para el año 2020, en el cumplimiento de que cada país debe conservar al menos el 17% de sus sistemas terrestres y al menos el 10% de sus mares (CBD, 2010), y aunque estas representan una herramienta de conservación importante, en la práctica muchas veces fallan en su cometido, por lo que cualquier decisión de conservación, incluso local, debe basarse en una evaluación integral estratégica de los beneficios tangibles de las ANP (Chauvenet & Barnes, 2016; Pressey et al., 2014).

México tiene 177 ANP Federales, divididas en seis categorías de manejo: 41 reservas de la biósfera, 66 parques nacionales, cinco monumentos naturales, ocho áreas de protección de los recursos naturales, 39 áreas de protección de flora y fauna y 18 santuarios, teniendo una superficie total de 25,628,239 ha, de

las que 20,772,255 ha son ANP terrestres y de aguas continentales (CONANP, 2015b).

En México las ANP no se consideran oficialmente como instrumentos de política ambiental, no obstante de acuerdo con Bezaury-Creel y colaboradores (2009), “es la mejor herramienta con que cuenta México para conservar la biodiversidad y los servicios ambientales que esta proporciona a la sociedad”.

Algunos países han implementado iniciativas en torno al desarrollo rural y la conservación basada en comunidades (CBD, 2010). Estas iniciativas generan beneficios económicos y sociales a través del mantenimiento de los recursos naturales variando el enfoque en cada caso, algunos contemplan compensar a las comunidades por la pérdida de su acceso a los recursos naturales (e. g. pago por servicios ambientales), mientras que otros buscan desarrollar oportunidades de trabajo a partir del turismo o del cultivo de especies silvestres. Estos enfoques no son del agrado de todas las comunidades, ya que los beneficios no son suficientes para el manejo y el monitoreo de los recursos naturales (Inamdar, De Jode, Lindsay, & Cobb, 1999). En otros casos, cuando no existe consulta con las comunidades para la administración de las ANP, puede llevar a escenarios negativos desde un principio, ejemplo de esto es el establecimiento de la Reserva Natural para la conservación de Pandas Gigantes en Wolong, China, en donde posterior a su establecimiento como ANP e inyección de recursos financieros para su mantenimiento, se incrementó la proporción de pérdida de su hábitat con respecto a su designación previa como ANP (Liu et al., 2001).

En México adolecemos de situaciones similares, privilegiando instrumentos que restringen el uso de los recursos por encima de los que estimulan el uso sustentable (e. g. programa de pagos por servicios ambientales hidrológicos; ANP que incluyen vedas en sus decretos). Esto toma mayor importancia debido a que el 51% del territorio nacional se encuentra bajo la figura de la propiedad

social, así como 55% de la superficie forestal dentro de esta propiedad social. En el caso de los bosques y selvas, se encuentra entre el 60 y el 80% en manos de ejidos o comunidades (Madrid et al., 2009). Estas iniciativas que no cuentan con programas de seguimiento robustos o no se ejercen en seguimiento de diagnósticos participativos, pueden ser costosas y no efectivas, no obstante lo anterior, instrumentos de planeación como el Ordenamiento Territorial Comunitario permiten definir colectivamente los límites de cada tipo de uso de suelo con base en el interés de la comunidad, pero tomando en cuenta el componente técnico, lo que permite que las actividades productivas se realicen de manera ordenada y se minimicen las pérdidas de capital natural, al mismo tiempo que se mejoren las oportunidades para el crecimiento económico (Anta Fonseca, Arreola Muñoz, González Ortiz, & Acosta Gonzalez, 2006; Madrid et al., 2009).

Las Áreas de Protección de Recursos Naturales son una de las categorías de manejo de las ANP en México, que se definen como “aquellas destinadas a la preservación y protección del suelo, las cuencas hidrográficas, las aguas y en general los recursos naturales localizados en terrenos forestales de aptitud preferentemente forestal. Se consideran dentro de esta categoría las reservas y zonas forestales, las zonas de protección de ríos, lagos, lagunas, manantiales y demás cuerpos considerados aguas nacionales, particularmente cuando éstos se destinen al abastecimiento de agua para el servicio de las poblaciones” (SEMARNAT, 2012).

La superficie estudiada se encuentra parcialmente dentro de un ANP bajo esta categorización: Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 043 estado de Nayarit. Esta ANP no cuenta con un plan de manejo publicado, es decir carece de una zonificación que rijan las distintas actividades de aprovechamiento, conservación, protección o restauración y sólo funciona como una zona de veda total e indefinida para la protección de la masa forestal

(CONANP, s/f; Secretaría de Agricultura y Ganadería, 1949; SEMARNAT, 2002).

Aunque el polígono del ANP sólo abarca una parte de la comunidad (18%), a toda esta se le considera como área de influencia del ANP, y se puede definir como superficies aledañas a la poligonal de un ANP, que mantienen una estrecha relación social, económica y ecológica con ésta, al permitir dar una continuidad biológica y social entre el ANP y la comunidad, adecuadas a la relación de esta con la naturaleza y sus variadas formas de vida de los pobladores (Domínguez-Cervantes, 2009). Debido a esto, ha sido beneficiada en los últimos años por apoyos del PRONAFOR de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) así como del Programa de Conservación del Maíz Criollo (PROMAC) y del Programa de Empleo Temporal (PET) (CONANP, 2015).

1.2.2. Cambio de uso de suelo

El cambio de uso del suelo o cambio en la cobertura del suelo es el cambio cuantitativo en la cobertura del suelo o los tipos de uso del suelo. De acuerdo con la FAO (2016), la cobertura del suelo describe características biofísicas observadas en la superficie de la tierra (e. g. bosques, desiertos), mientras que el uso del suelo es referido como la interacción humano-entorno y se caracteriza por actividades antropogénicas que mantienen una cobertura concreta de la tierra ambiente (e. g. áreas de cultivo, plantaciones). Este cambio de uso de suelo puede alterar de manera importante la provisión de servicios ecosistémicos, mismos que se han visto reducidos, incluidos la biodiversidad, debido a la constante presión por la producción de alimentos, madera y otros productos básicos, afectando todo tipo de coberturas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005).

Los procesos que determinan el cambio del uso del suelo son la deforestación, la alteración y la fragmentación. El cambio de uso del suelo en matorrales suele incluirse dentro de la desertificación o “degradación ambiental en zonas áridas” (SEMARNAT, 2015), no obstante, en México, de acuerdo con la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, los matorrales de las zonas áridas y semiáridas del país se consideran vegetación forestal (LGDFS, 2018), por lo que también es posible aplicar el término deforestación. Sin embargo, organizaciones internacionales, como la FAO, consideran que la deforestación se restringe a zonas arboladas (FAO, 2012).

Actualmente, existen una gran cantidad de estudios sobre los cambios en la cobertura y uso del suelo a través del tiempo, incluyendo la evaluación de la efectividad de las ANP, con enfoques tanto cuantitativos como cualitativos, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota (CONANP, 2009a, 2009b; Figueroa & Sánchez-Cordero, 2008; Kovacs, Zhang, & Flores-verdugo, 2008; Lanza, Ramírez-García, Thomas, & Alcántara, 1993; Liu et al., 2001; López-Vázquez, Balderas-Plata, Chávez Mejía, Juan-Pérez, & Gutiérrez-Cedillo, 2015; Mas, 2005; Osuna-Osuna et al., 2015; Sánchez-Reyes, Niño-Maldonado, Barrientos-Lozano, & Treviño-Carreón, 2017; Yim et al., 2018).

Todos estos estudios proporcionan una base para conocer las tendencias de los procesos de deforestación, degradación y pérdida de la biodiversidad de una región determinada (Lambin et al., 2001; Velázquez, Mas, Gallegos-Díaz, et al., 2002). La caracterización y el mapeo de la cobertura del suelo es esencial para la planificación y el manejo de los recursos naturales, el modelado de variables ambientales y para comprender la distribución de los hábitats (Gómez, White, & Wulder, 2016). No obstante, el conocimiento sobre el papel del cambio de uso del suelo en la dinámica del Sistema Terrestre también debe capturar los factores socioeconómicos, biofísicos (del cambio del uso del suelo) y las

condiciones humanas presentes en un lugar concreto, y para esto, se requiere la integración de las ciencias naturales y sociales (Lambin et al., 2001).

1.2.3. Zonificación ecológica

La zonificación ecológica es un proceso que permite la planificación del uso del suelo en un área determinada, tomando en cuenta tanto los elementos bióticos y físicos, como los aspectos socio-económicos (FAO, 1997; M. A. García, Treviño-Garza, Cantú Ayala, & González-Saldívar, 1999) Este principio se ha usado para planificar los usos del suelo en ANP, en los que *“cada zona y subzona tiene objetivos de manejo distintos, lo que permite que dentro de un área decretada se puedan realizar diferentes actividades compatibles con los factores físicos, biológicos, sociales y económicos de la zona”* (Iñiguez-Dávalos, Jiménez, Sosa, & Ortega-Rubio, 2014).

1.3. Justificación

A nivel mundial, las ANP representan la piedra angular de las políticas de conservación forestal, particularmente en países en desarrollo (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). En México se utilizan como herramienta para conservar la biodiversidad y los servicios ambientales que esta proporciona a la sociedad (Bezaury-Creel & Gutiérrez Carbonell, 2009). No obstante, se tienen que considerar tres factores que impiden o disminuyen su función: 1) el 51% del territorio nacional se encuentra bajo el esquema de propiedad social (Madrid et al., 2009); 2) el 80% de los bosques del país se encuentran en áreas bajo las figuras legales de ejido o comunidad; 3) la mayoría de ANP fueron decretadas en este tipo de áreas (Bray, Merino-Pérez, & Barry, 2005; Madrid et al., 2009; Melo-Gallegos, 2002). En este sentido, la comunidad El Chiquihuite, ubicada parcialmente dentro de un ANP, mantiene una estrecha relación social, económica y ecológica con ésta, (Domínguez-Cervantes, 2009). Sin embargo, la categoría a la que pertenece esta ANP tiene una definición imprecisa, un área que no quedó prevista en ninguna otra categoría (Iñiguez-Dávalos et al., 2014), no incluye zonificación alguna en su Decreto ni en el Acuerdo de Recategorización como Área de Protección de Recursos Naturales (Secretaría de Agricultura y Ganadería, 1949; SEMARNAT, 2002) y no cuenta con un plan de manejo (CONANP, s/f), que establezca políticas y lineamientos precisos para el uso y conservación de sus recursos naturales. En concreto, la comunidad carece de instrumentos de planeación a largo plazo que estén basados en un diagnóstico que considere un análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades del aprovechamiento de sus recursos naturales, así como indicadores que permitan evaluar la efectividad del ANP. El uso de técnicas de percepción remota mediante software libre e imágenes satelitales (QGIS, 2018; USGS, 2018b) es una alternativa gratuita para evaluar el estado de sus bosques, la tasa de transformación del hábitat y la efectividad del ANP y a partir de estos datos, realizar una propuesta de planeación territorial acorde a la realidad de la comunidad.

1.4. Hipótesis

H1: La degradación de los ecosistemas es superior dentro de la comunidad rural que aquella presente dentro del Área Natural Protegida.

En el área natural protegida la degradación es mayor en la superficie que pertenece a la comunidad rural.

H2: Existen cambios en los ecosistemas a partir de la recategorización del Área Natural Protegida como área de protección de recursos naturales y contrastan con los presentes dentro de la comunidad (porción dentro de ANP y área de influencia de la ANP).

1.5. Objetivo del trabajo

1.5.1. Objetivo general

Evaluar las condiciones actuales del uso de suelo y vegetación dentro de la comunidad rural El Chiquihuite mediante el procesamiento y análisis multitemporal de imágenes satelitales para determinar el impacto del decreto de establecimiento de esta ANP en cuanto a su conservación.

1.5.2. Objetivos particulares

Determinar los cambios de superficie de las comunidades vegetales a través del tiempo, considerando como una unidad separada la vegetación dentro del polígono del ANP en la misma comunidad.

Determinar el impacto del Decreto de ANP sobre las comunidades vegetales mediante la comparación del cambio de clases de uso del suelo antes y después de su establecimiento.

Identificar áreas que se puedan encontrar en un proceso de degradación así como aquellas áreas que indiquen un proceso de recuperación de los ecosistemas presentes en la comunidad.

Proponer un esquema de planeación territorial con base en la efectividad del ANP para evitar el cambio de uso de suelo y la degradación de sus ecosistemas en conjunto con variables climáticas y fisiográficas e información de actividades productivas que realizan en la comunidad.

Determinar la diversidad de la vegetación dentro de la comunidad el Chiquihuite.

CAPÍTULO II

2. DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE LA VEGETACIÓN INVENTARIO FORESTAL Y SU ANÁLISIS

2.1. Resumen

Se determinó la diversidad y el valor de importancia mediante el uso de índices cuantitativos con el propósito de evaluar el estado de la vegetación en la comunidad, tanto dentro del ANP como afuera de esta. Se calcularon los parámetros de frecuencia, dominancia y densidad, así como sus valores relativos, con ellos se estimó el Índice de Valor de Importancia, mostrando cómo las especies presentes en el área contribuyen en la estructura del ecosistema. Se establecieron sitios de muestreo siguiendo la metodología de la CONAFOR para el Inventario Forestal y de Suelos en forma de conglomerados, así como sitios de muestreo circulares de 1000 m². Ambos muestreos se realizaron dentro y fuera del ANP con la finalidad de evaluar la efectividad del ANP en la conservación de los recursos forestales de la comunidad. Con base en estos datos, se observó que el área que comprende al interior del ANP tiene una diversidad y densidad arbórea mayor que el área que no forma parte del ANP. Los géneros dominantes son *Quercus* y *Juniperus*. Con la información sistematizada, se recurrió a un índice no paramétrico para conocer la diversidad florística. Desde este punto de vista, el área del ANP al interior de la comunidad, realmente representa un instrumento para la conservación tanto de la masa forestal como de la biodiversidad presente.

2.2. Introducción

El área de estudio se encuentra en la comunidad El Chiquihuite. Esta área se encuentra cubierta de manera predominante por bosques de encino, los cuales son característicos de las zonas montañosas de México. Estos bosques son explotados generalmente a una escala local, empleando la madera para

construcciones, muebles, postes y principalmente como carbón (Rzedowski, 2006), en la comunidad El Chiquihuite este es una práctica arraigada, no obstante, la veda permanente (Secretaría de Agricultura y Ganadería, 1949) impide su aprovechamiento en el área.

De acuerdo con Rzedowski (2006), los bosques de encino ocupan una situación estratégica dentro de las cuencas hidrográficas, ocasionalmente mermados por la explotación desmedida en décadas pasadas, principalmente para la obtención de carbón, lo que ha promovido en parte, el cambio de uso de suelo, convirtiendo superficies extensas en áreas destinadas a la agricultura y la ganadería. Esto ha ocasionado que la erosión que afecta el substrato de los bosques de encino produzca efectos deletéreos en áreas más allá de donde se producen, provocando la desecación de manantiales, contaminación del agua, inundaciones, azolve de presas y tolveneras.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, se puede decir que la vegetación es un recurso natural clave para el equilibrio del ecosistema por lo que es necesario disponer de información cuantitativa sobre sus características y distribución (Campo & Duval, 2014). Esto se logra mediante un inventario forestal, ya que describe la estructura y función de la vegetación para su aplicación en el uso y manejo (Villareal et al., 2004), además, es especialmente importante al trabajar con ANP, ya que para la conservación de sus ecosistemas, la diversidad de los tipos vegetación, así como sus números, son indicadores relevantes para su análisis (Campo & Duval, 2014).

Diversidad α

De acuerdo con Baca-Venegas (2000), un aspecto distintivo de las comunidades naturales es la diferencia existente entre ellas en cuanto a su riqueza específica. Se considera que una comunidad es más compleja mientras mayor sea el número de especies que la compongan y mientras una o pocas

especies presenten una dominancia menor con respecto a las demás. Por lo tanto, la diversidad se puede definir como la característica de las comunidades que mide ese grado de complejidad. El índice de diversidad es un parámetro estadístico derivado de la información de la riqueza de especies y la abundancia de los individuos presentes en el ecosistema (Gaines, Harrod, & Lehmkuhl, 1999). El más utilizado para analizar la biodiversidad vegetal es el Índice de Shannon (H); que utiliza en la medición de la diversidad en distintos niveles de los ecosistemas para distintos objetos y debido a que presenta propiedades que permite pruebas estadísticas, como la comparación de valores en distintos momentos, en una misma población o comunidad. Además de esto, su mayor eficiencia cuando el muestreo es aleatorio, en grandes comunidades, hacen que el índice de Shannon tenga una aplicación constante en los estudios fitosociológicos (Baca-Venegas, 2000).

El índice de Shannon–Wiener (H') mide la diversidad natural teniendo en cuenta a) el número de especies presentes; y b) cómo se reparten esas especies. Este índice toma en cuenta los dos componentes de la diversidad: número de especies y equitatividad o uniformidad de la distribución del número de individuos en cada especie; de acuerdo con esto, un mayor número de especies incrementa la diversidad y, además una mayor uniformidad también lo hará. El índice de Simpson $1 - D$ se basa en la heterogeneidad de las especies más comunes presentes en el ecosistema en estudio, y está referido como una medida de dominancia (Magurran, 2004). La ventaja del índice de Simpson con respecto al índice de Shannon es que su significado biológico es más claro. La deducción del primero se basa en el hecho de que, en una comunidad biológica muy diversa, la probabilidad de que dos organismos tomados al azar sean de la misma especie debe ser baja. Por otro lado, el índice de Simpson representa la probabilidad de que al seleccionar de una comunidad a dos individuos al azar, estos sean de la misma especie. Para este trabajo se calcularon índices de diversidad alfa y beta de acuerdo con Magurran (2004).

2.3. Materiales y Métodos

2.3.1 Localización y descripción del área de estudio

El área de estudio comprende la comunidad El Chiquihuite, situada en el municipio de Susticacán, suroeste de Zacatecas. Se ubica entre las coordenadas extremas, en metros (X, Y): esquina noroeste (675255, 2508045) y esquina sureste (685575, 2495025) de acuerdo con la proyección UTM, datum WGS 84 y la zona 13N (Figura 2). La comunidad abarca una superficie de 9,358 ha y es una de las tres propiedades sociales que se encuentran en el municipio (RAN, 2018b). Aunque pertenece al municipio de Susticacán, abarca porciones de los municipios de Monte Escobedo y Tepetongo. Pertenece a la provincia fisiográfica Sierra Madre Occidental y a las dos subprovincias Sierras y Valles Zacatecanos y Mesetas y Cañadas del Sur. Las topoformas presentes son de sierra (8,875 ha) y meseta (484 ha) respectivamente (Cervantes-Zamora et al., 1990). La formación geológica principal es de roca ígnea extrusiva (6,688 ha), seguida de roca ígnea intrusiva (2,669 ha), ambas de origen volcánico y relativamente recientes (Oligoceno-Mioceno) (SGM, 1997; USGS, 2007): la distribución de los suelos corresponde a Luvisol (1,564 ha) y Leptosol (7,793 ha) (INEGI, 2014). El clima dominante es templado subhúmedo (9,203 ha), con una pequeña porción de semiseco templado (156 ha) (García, 2004). La altitud promedio es 2,577 msnm con un rango de 2,130 a 2,955 msnm (Figura 2). El bosque de encino cubre 6,804 ha (bosque de encino, encino-pino y pino-encino), bosque de pino (5 ha), bosque de táscate (402 ha), pastizal inducido (1090 ha), pastizal natural (233 ha) y selva baja caducifolia (641 ha) (Figura 3) (CONAFOR, 2014). El Chiquihuite se encuentra parcialmente dentro del ANP Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 043 Estado de Nayarit, ubicada entre los estados de Aguascalientes, Jalisco, Durango, Nayarit y Zacatecas con una extensión de 2,329,027 ha (CONANP, s/f). La porción del ANP dentro de la comunidad abarca 1,690 ha (18% del área de la comunidad).

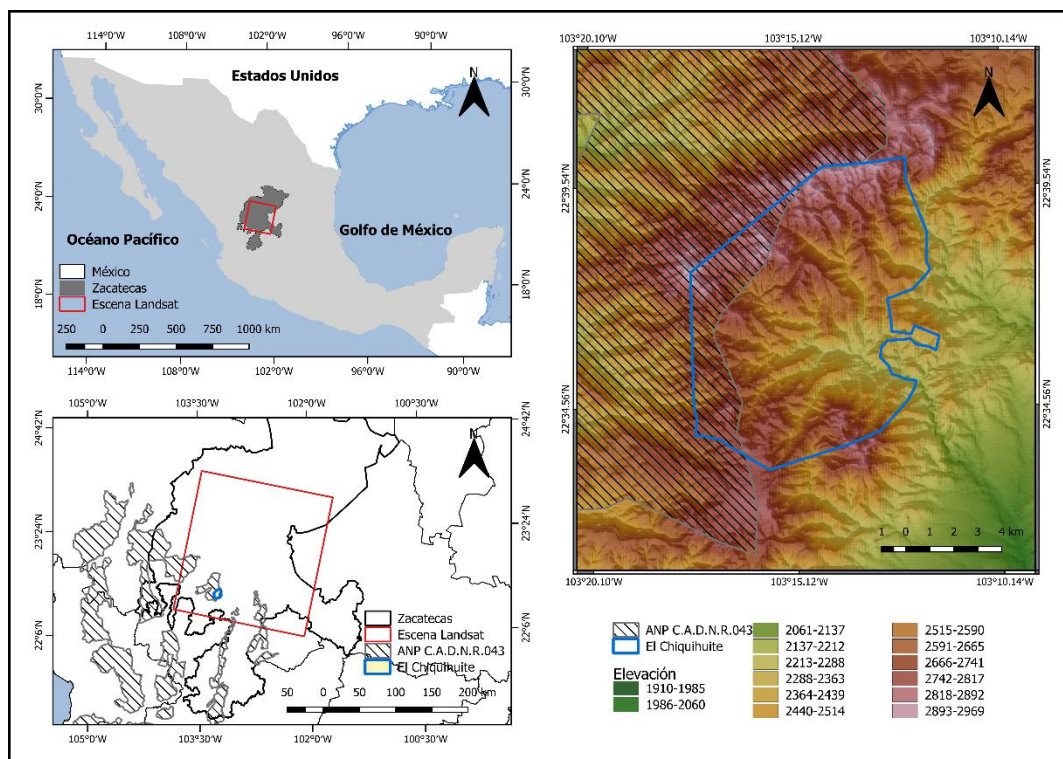


Figura 1. Ubicación del área de estudio (Elaboración propia en QGIS 3.3).

2.3.2 Sitios de muestreo

Se establecieron dos sitios de muestreo siguiendo la metodología de la CONAFOR para el Inventario Forestal y de Suelos. Para cada condición (dentro del ANP y fuera del ANP) (CONAFOR, 2015) (

Figura 2. Forma y tamaño de los sitios de muestreo (Tomado de CONAFOR, 2014).).

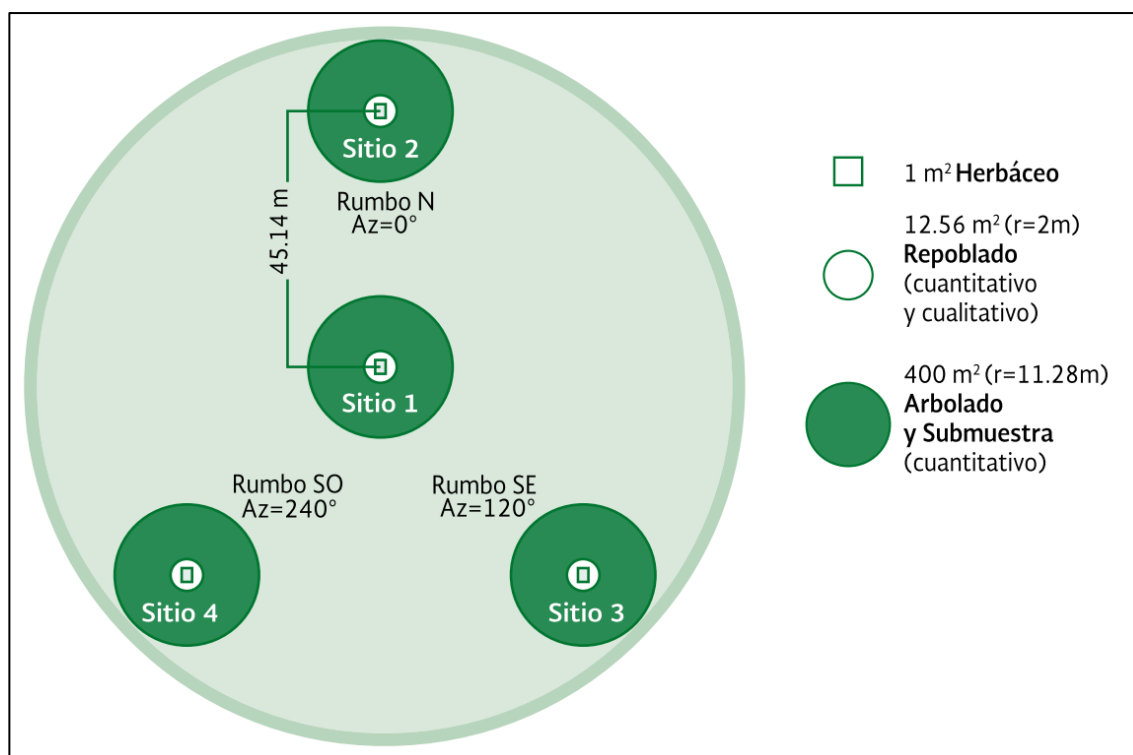


Figura 2. Forma y tamaño de los sitios de muestreo (Tomado de CONAFOR, 2014).

Para registrar los datos de variables dasométricas en campo se utilizó cinta diamétrica para medir el diámetro normal (DN), para el área de copa, flexómetros convencionales y para obtener la altura se utilizó la aplicación para celular Mobile Timber Cruise® (MOTI®) (Noiret, 2016). La toma de datos de altura fue calibrada en campo mediante el uso de un clinómetro convencional marca Suunto®.

De igual manera se establecieron 12 sitios de muestreo circulares de 17.84 m de radio (1000 m²) en los que se midieron y registraron las especies arbóreas con DN mayores a 7.5 cm, obteniendo medidas de altura, DN y cobertura de copa. Para definir la composición arbórea se identificaron y analizaron las especies vegetales con respecto a su dominancia, abundancia y frecuencia, así como su importancia ecológica a través del Índice de Valor de Importancia (Cottam & Curtis, 1956; Curtis & McIntosh, 1950; Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974).

Tabla 1. Variables fitosociológicas / índices utilizados.

	Variable / Índice	Descripción	Fórmula	
Variables fitosociológicas	Abundancia	Se cuantificó el número de árboles por especie por unidad de superficie.	$A_r = \frac{n}{N} * 100$	A_r = Abundancia relativa. n = Número de individuos de especie i . N = Número total de individuos.
	Dominancia	A partir del DN, se estimó el área basal por árbol por especie expresada en $m^2 \cdot ha^{-1}$	$D_r = \frac{g}{G} * 100$	D_r = Dominancia relativa. g = Área de la especie i . G = Áreas totales de los individuos.
	Frecuencia	Se determinó la frecuencia como una medida de la distribución de las especies en la comunidad vegetal.	$F_r = \frac{f_i}{\sum N} * 100$	F_r = Frecuencia relativa. f_i = Presencia de la especie i en los sitios de muestreo. $\sum N$ = Sumatoria de la frecuencia de todas las especies.
	Índice de Valor de Importancia.	Esta es la suma de la abundancia relativa, la dominancia y la frecuencia relativas. La especie con el valor más alto de IVI es referida como la especie dominante (Curtis & McIntosh, 1950; Singh, Singh, & Gupta, 2015)	$IVI = \left(\frac{Ar + Dr + Fr}{3} \right) * 100$	IVI = Índice de Valor de Importancia. A_r = Abundancia relativa de la especie i . D_r = Dominancia relativa de la especie i . F_r = Frecuencia relativa de la especie i .
Diversidad alfa	Índice de Shannon–Wiener (H')	Se calculó con los registros de cada especie (riqueza).	$H' = \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$	H' = Diversidad. S = Número de especies p_i = Proporción del número de individuos de la especie i con respecto al total (n_i/N_t).
	Índice de Simpson $1 - D$	Se basa en la heterogeneidad de las especies más comunes presentes en el ecosistema en estudio	$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$	n = Número de individuos de la especie i . N = Número total de individuos.
Riqueza de especies	Índice de Menhinick ($R2$):	Utiliza algunas combinaciones de S (número de especies recolectadas, y N (número total de individuos).	$R2 = \frac{S}{\sqrt{N}}$	S = Número de especies. N = Número total de individuos.

Riqueza de especies

Para realizar los análisis de biodiversidad, así como de riqueza, se utilizó el software computacional PAST: Paleontological Statistics versión 3.21 (Hammer, Harper, & Ryan, 2001).

2.4. Resultados

Muestreo por conglomerados

Los sitios de muestreo por conglomerados se ubicaron dentro y fuera del ANP. Afuera se reportan tres especies arbóreas, de las cuales *Quercus eduardii* es la especie dominante, seguida de *Juniperus flaccida*. *Q. eduardii* se distribuye en la cantidad de 131 individuos por hectárea, *J. flaccida* 56 individuos por hectárea y *Q. rugosa* 6 individuos por hectárea. (Tabla 2; Figura 3).

Tabla 2. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI del conglomerado fuera del ANP (elaboración propia).

Especie	# ind	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valores de importancia	
		N/ha	%	m ² /ha	%	N/Sitio	%	IVI	IVI rel
<i>Arbutus xalapensis</i>	0	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Quercus rugosa</i>	1	6.25	3.23	0.19	0.58	0.25	16.67	20.48	6.83
<i>Quercus eduardii</i>	21	131.25	67.74	30.87	96.03	0.75	50.00	213.77	71.26
<i>Juniperus flaccida</i>	9	56.25	29.03	1.09	3.38	0.50	33.33	65.75	21.92
	31	194	100	32.14	100	1.5	100	300	100

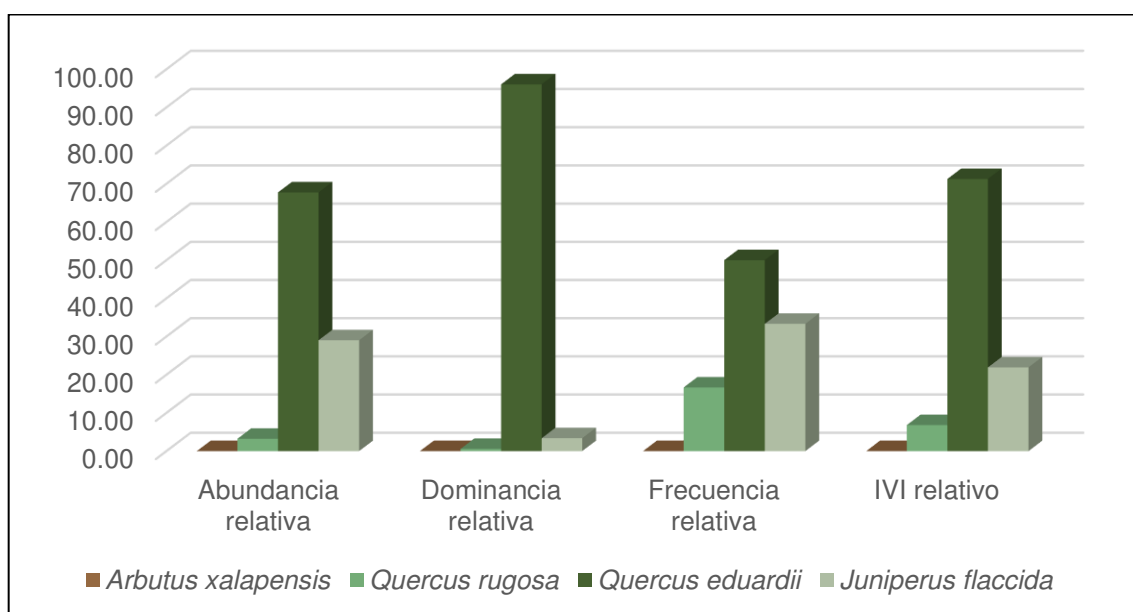


Figura 3. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI del conglomerado fuera del ANP (elaboración propia).

Al interior del ANP se reportan cuatro especies arbóreas, de las cuales *Q. rugosa* es la especie más abundante, dominante y frecuente, y, por lo tanto, teniendo el índice de valor de importancia más alto. Esta especie se distribuye en la cantidad de 593 individuos por hectárea, mientras que *Q. eduardii* 68 individuos por hectárea, *Arbutus xalapensis* 50 individuos por hectárea y *J. flaccida* 43 individuos por hectárea (Tabla 3; Figura 4).

Tabla 3. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI del conglomerado dentro del ANP (elaboración propia).

Especie	# ind	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valores de importancia	
		N/ha	%	m ² /ha	%	N/Sitio	%	IVI	IVI rel
<i>Arbutus xalapensis</i>	8	50	6.61	5.73	9.05	0.75	23.08	38.74	12.91
<i>Quercus rugosa</i>	95	593.75	78.51	45.06	71.14	1.00	30.77	180.42	60.14
<i>Quercus eduardii</i>	11	68.75	9.09	9.22	14.56	0.50	15.38	39.04	13.01
<i>Juniperus flaccida</i>	7	43.75	5.79	3.32	5.25	1.00	30.77	41.80	13.93
	121	756	100	63.33	100	3.25	100	300	100

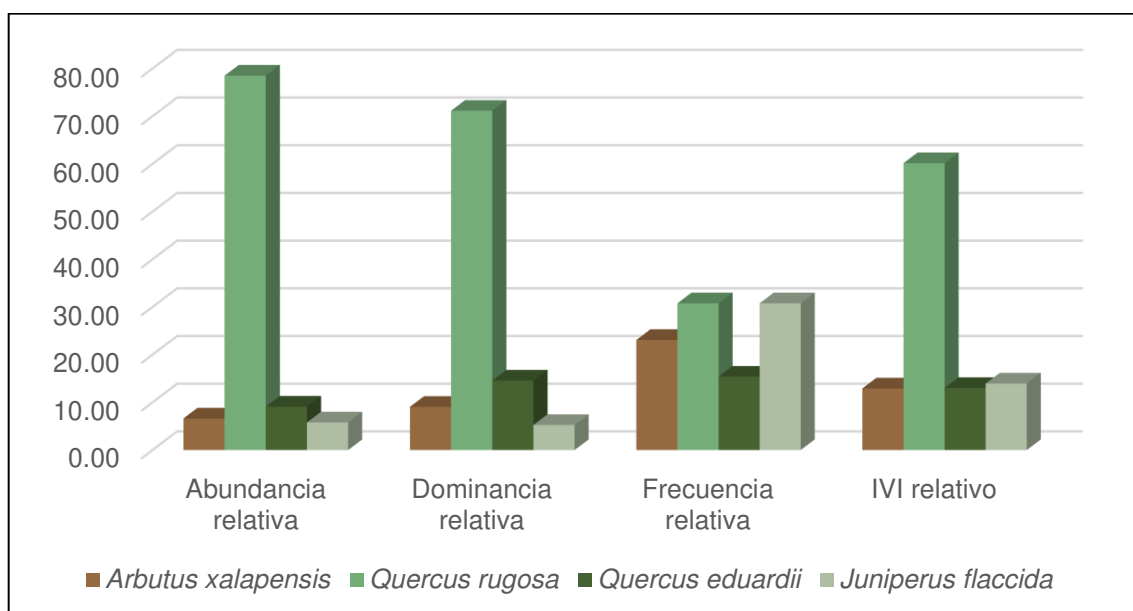


Figura 4. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI del conglomerado dentro del ANP (elaboración propia).

La densidad arbórea al interior y afuera del ANP son notoriamente diferentes, prácticamente en una proporción de 1 : 4 (194 n/ha : 756 n/ha). En cuanto al área basal, esta se observa en una proporción de 1 : 2 (32 m²/ha : 63 m²/ha) (Tabla 4).

Tabla 4. Comparación entre el número de individuos (# ind), número de individuos por hectárea (N/ha) y área basal por hectárea (m²/ha) entre los dos conglomerados (elaboración propia).

	# ind	N/ha	m ² /ha
Fuera del ANP	31	194	32.14
Dentro del ANP	121	756	63.33

En cuanto a la diversidad arbórea observada, se identificaron 3 especies en los sitios muestreados al exterior del ANP y 4 especies al interior del ANP. La diversidad es similar en ambas superficies, siendo ligeramente mayor al interior del ANP, aunque en esta se observa una dominancia mayor por parte de *Q. rugosa*; la riqueza de especies es mayor al interior del ANP (Tabla 5; Figura 5).

Tabla 5. Índices de diversidad y riqueza de especies del muestreo por conglomerados con los límites superior e inferior para un intervalo de confianza del 95% (elaboración propia con datos obtenidos en PAST 3.21).

	Fuera ANP	Inferior	Superior	Dentro ANP	Inferior	Superior
Taxa	3	3	3	4	4	4
Individuos	31	31	31	121	121	121
Dominancia D	0.5442	0.436	0.677	0.6324	0.534	0.735
Simpson 1-D	0.4558	0.323	0.564	0.3676	0.265	0.466
Shannon H	0.7337	0.579	0.923	0.7524	0.56	0.91
Menhinick R2	0.5388	0.539	0.539	0.3636	0.364	0.364

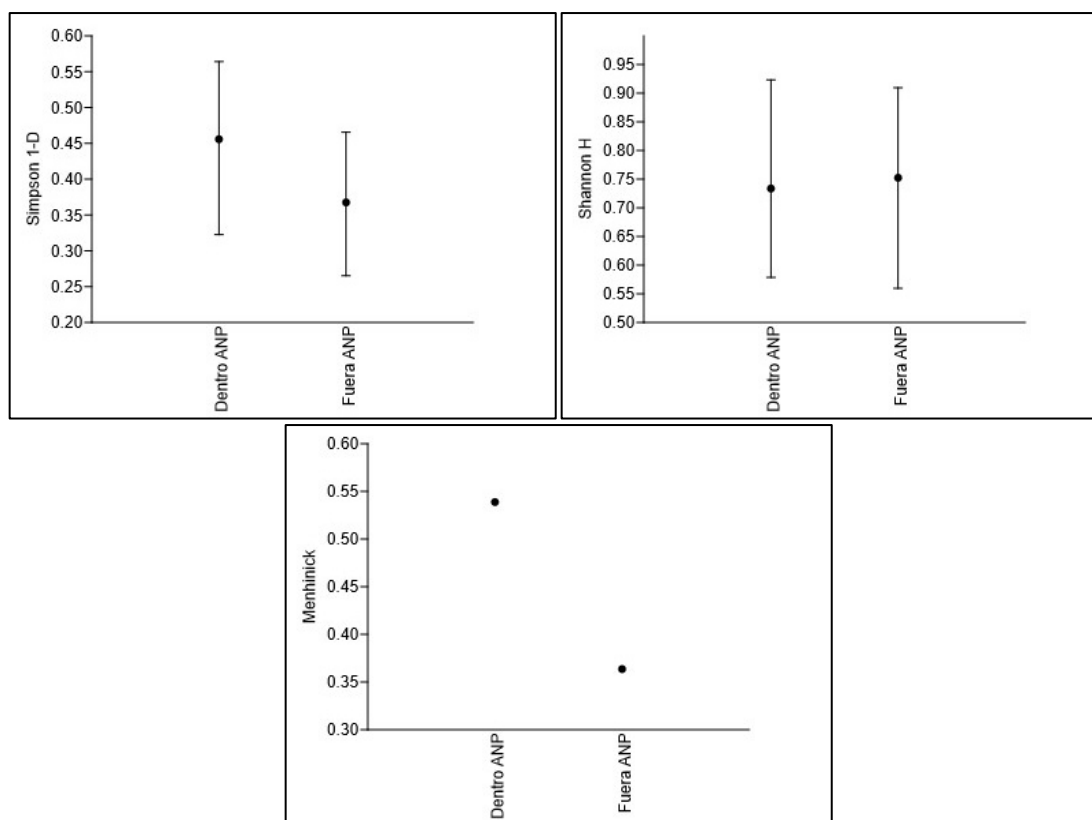


Figura 5. Gráficas de los Índices de diversidad y riqueza de especies del muestreo por conglomerados con los límites superior e inferior para un intervalo de confianza del 95% (Elaboración propia utilizando PAST 3.21).

La diversidad beta global observada es homogénea, 0 indica que no hay cambios en la composición de especies entre los distintos puntos de muestreo, mientras que 1 indica que hay un cambio total en la composición de especies (Tabla 6).

Tabla 6. Índice de diversidad Beta de Whittaker del muestreo por conglomerados (elaboración propia).

	Dentro ANP	Fuera ANP
<i>Dentro ANP</i>	0	0.14286
<i>Fuera ANP</i>	0.14286	0

Muestreo por sitio de 1000 m²

En estos sitios de muestreo se observaron seis especies distintas afuera del ANP. Siendo dominante el cedro (*J. flaccida*), seguido del encino (*Q. rugosa* y *Q. potosina*). En cuanto a la especie con el valor mayor de IVI se observó a *Q. rugosa* seguido de *J. flaccida* y *Q. potosina* (Tabla 7; Figura 6).

Tabla 7. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI de los sitios de muestreo fuera del ANP (elaboración propia).

Especie	# ind	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valores de importancia	
		N/ha	%	m ² /ha	%	N/Sitio	%	IVI	IVI rel
<i>Arbutus xalapensis</i>	1	1.67	0.62	0.06	0.25	1.00	5.88	6.75	2.25
<i>Fraxinus sp.</i>	1	1.67	0.62	0.02	0.06	1.00	5.88	6.56	2.19
<i>Juniperus deppeana</i>	1	1.67	0.62	0.01	0.03	1.00	5.88	6.53	2.18
<i>Juniperus flaccida</i>	74	123.33	45.68	5.76	23.03	6.00	35.29	104.00	34.67
<i>Pinus leiophylla</i>	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Quercus eduardii</i>	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Quercus magnoliifolia</i>	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Quercus potosina</i>	25	41.67	15.43	5.30	21.17	5.00	29.41	66.02	22.01
<i>Quercus rugosa</i>	60	100.00	37.04	13.88	55.46	3.00	17.65	110.14	36.71
	162	270	100	25.03	100	17	100	300	100

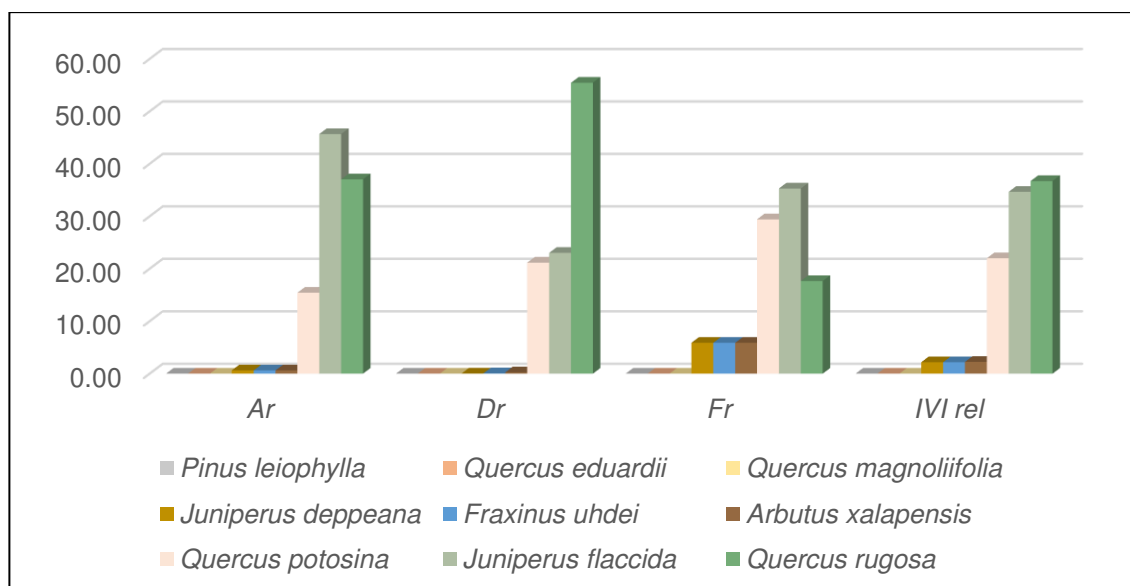


Figura 6. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI de los sitios de muestreo fuera del ANP (elaboración propia).

Por otro lado, al interior del ANP se observan ocho especies arbóreas distintas, siendo dominante el encino (*Q. rugosa*), seguido del cedro (*J. flaccida*). En cuanto a la especie con el valor mayor de IVI se observó a *Q. rugosa* (Tabla 8; Figura 7).

Tabla 8. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI de los sitios de dentro del ANP (elaboración propia).

Especie	# ind	Abundancia		Dominancia		Frecuencia		Valores de importancia	
		N/ha	%	m ² /ha	%	N/Sitio	%	IVI	IVI rel
<i>Arbutus xalapensis</i>	11	18.33	4.03	1.84	3.10	2.00	7.69	14.82	4.94
<i>Fraxinus</i>	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Juniperus flaccida</i>	75	125.00	27.47	3.24	5.45	6.00	23.08	56.00	18.67
<i>Juniperus deppeana</i>	6	10.00	2.20	0.12	0.20	3.00	11.54	13.93	4.64
<i>Pinus leiophylla</i>	1	1.67	0.37	0.01	0.02	1.00	3.85	4.23	1.41
<i>Quercus eduardii</i>	14	23.33	5.13	1.78	3.00	2.00	7.69	15.82	5.27
<i>Quercus magnoliifolia</i>	30	50.00	10.99	11.20	18.84	5.00	19.23	49.06	16.35
<i>Quercus potosina</i>	17	28.33	6.23	10.10	16.99	2.00	7.69	30.90	10.30
<i>Quercus rugosa</i>	119	198.33	43.59	31.16	52.40	5.00	19.23	115.22	38.41
	273	455	100	59.46	100	26	100	300	100

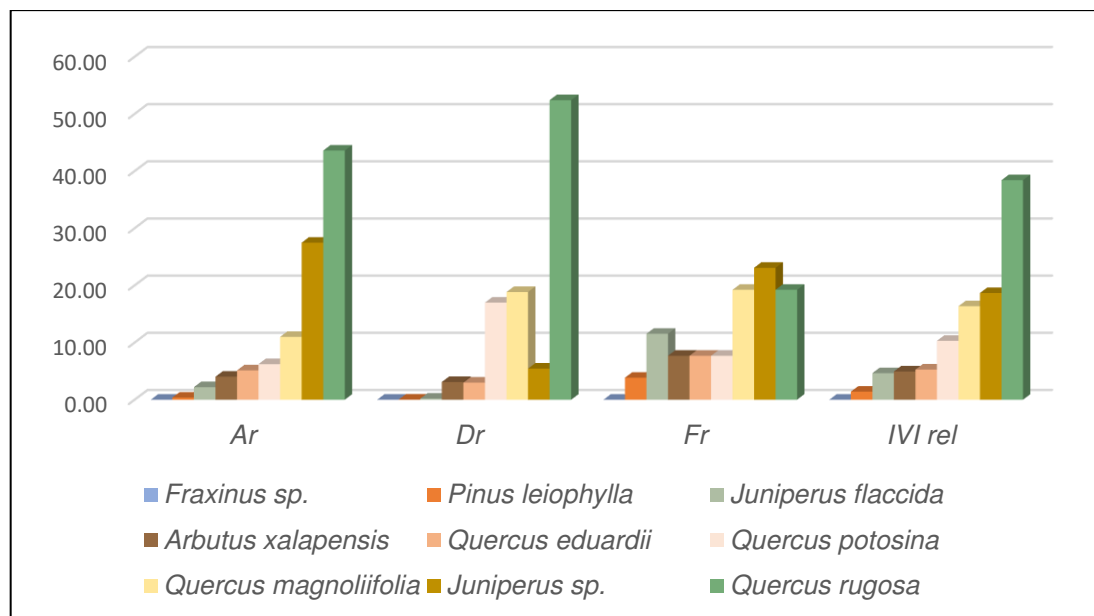


Figura 7. Abundancia relativa, dominancia, frecuencia e IVI de los sitios de muestreo dentro del ANP (elaboración propia).

La densidad arbórea al interior y afuera del ANP son, al igual que en el muestreo por conglomerados, diferentes. Afuera del ANP se observan 270 individuos por hectárea, mientras que al interior 455 individuos por hectárea. En cuanto al área basal, esta se observa cercana a una proporción de 1 : 2 (25 m²/ha : 59 m²/ha) (Tabla 9).

Tabla 9. Comparación entre el número de individuos (# ind), número de individuos por hectárea (N/ha) y área basal por hectárea (m²/ha) entre los dos conglomerados (elaboración propia).

	# ind	N/ha	m ² /ha
Fuera del ANP	162	270	25.03
Dentro del ANP	273	455	59.46

En cuanto a la diversidad arbórea observada, se identificaron seis especies en los sitios muestreados al exterior del ANP y cuatro especies al interior del ANP. La diversidad es notoriamente mayor al interior del ANP, tal cual lo indican los índices de Simpson y Shannon. La dominancia es más notoria al exterior del ANP. De igual manera, la riqueza de especies es mayor al interior del ANP que al exterior de esta. La diversidad beta global observada es homogénea, no se observan cambios importantes en la composición de especies dentro y fuera del ANP (Tabla 10 y tabla 11; Figura 8).

Tabla10. Índices de diversidad y riqueza de especies del muestreo por sitios de 1000 m² con los límites superior e inferior para un intervalo de confianza del 95% (elaboración propia con base en los datos obtenidos en PAST 3.21).

	Dentro ANP	Inferior	Superior	Fuera ANP	Inferior	Superior
Taxa	8	8	8	6	6	6
Individuos	273	273	273	162	162	162
Dominancia D	0.2862	0.2538	0.326	0.3698	0.3349	0.4028
Simpson 1-D	0.7138	0.674	0.746	0.6302	0.5971	0.6651
Shannon H	1.519	1.41	1.613	1.108	1.059	1.222
Menhinick R2	0.4842	0.4842	0.4842	0.4714	0.4714	0.4714
Margalef R1	1.248	1.248	1.248	0.9828	0.9828	0.9828

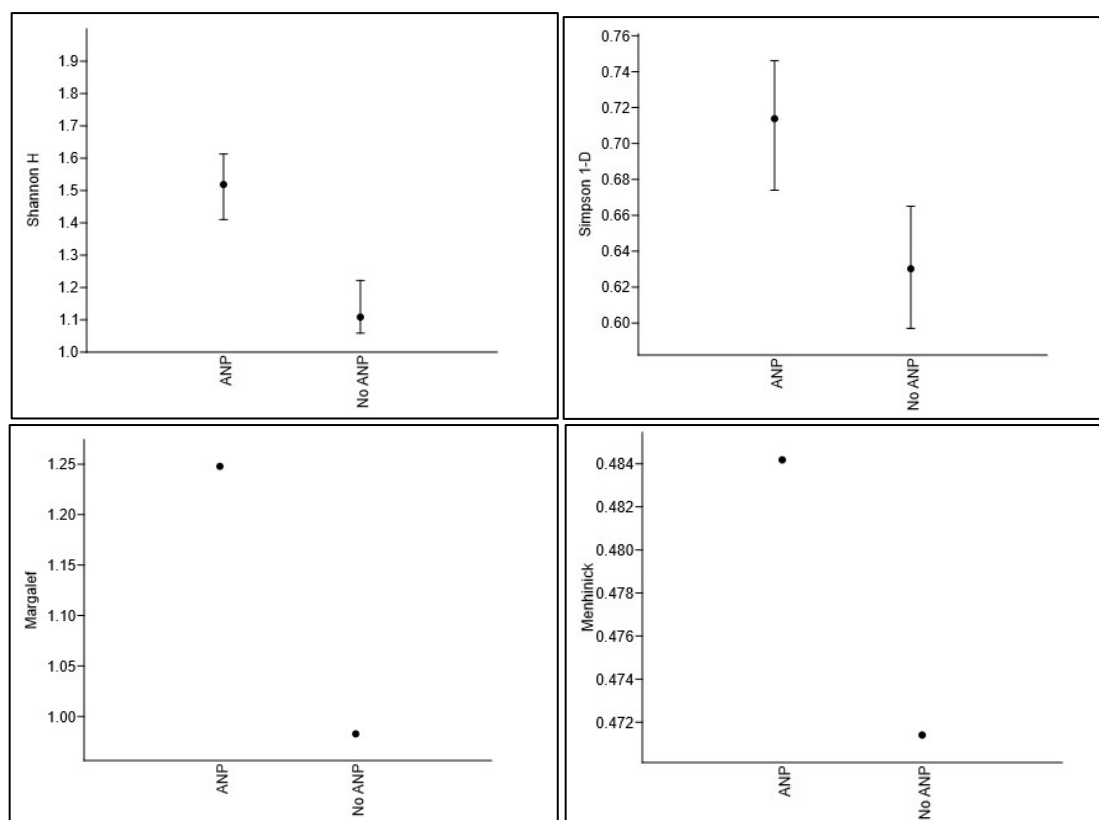


Figura 8. Gráficas de los Índices de diversidad y riqueza de especies del muestreo por sitios de 1000 m² con los límites superior e inferior para un intervalo de confianza del 95% (Elaboración propia utilizando PAST 3.21).

Tabla 1. Índice de diversidad Beta de Whittaker del muestreo por sitios de 1000 m² (elaboración propia).

	Dentro ANP	Fuera ANP
<i>Dentro ANP</i>	0	0.28571
<i>Fuera ANP</i>	0.28571	0

2.5. Discusión

El resultado del cálculo de las variables fitosociológicas concuerda con la estructura de un bosque de encino (Rzedowski, 2006). Las especies dominantes y mejor representadas son aquellas comprendidas dentro del género *Quercus*, seguidas por *Juniperus* y con presencia de *Pinus*, lo que concuerda con resultados reportados para bosque de encino en el vecino

estado de Coahuila (Encina Domínguez, Zárate Lupercio, Estrada Castellón, Valdés Reyna, & Villarreal Quintanilla, 2009).

Actualmente no se reportan trabajos para México que realicen un análisis utilizando datos de estructura y diversidad de bosque de encino dentro y fuera de ANP, así como el uso de diferentes técnicas de muestreo para realizar inventario forestal en bosque de encino. En este caso, al utilizar ya sea conglomerado o sitios circulares de 1000 m² se obtuvieron resultados similares en cuanto a área basal de los sitios muestreados (conglomerado: 63 m²/ha vs 59 m²/ha; sitio circular: 32 m²/ha vs 25 m²/ha). El muestreo por conglomerados muestra una superioridad en la abundancia y frecuencia de *Quercus eduardii* fuera del ANP, la intensidad de muestreo superior en los sitios de 1000 m², permite dilucidar a *Quercus rugosa* como una especie dominante, tanto dentro como fuera del ANP. Por otro lado, en cuanto a las diferencias sobre la abundancia y densidad de la vegetación arbórea, el área que comprende la porción dentro del ANP, tiene un área basal mayor (conglomerado: 63 m²/ha; sitios circulares: 59 m²/ha) que aquella fuera del ANP (conglomerado: 32 m²/ha; sitios circulares: 25 m²/ha) con un número mayor de árboles por ha (270 ind/ha vs 455 ind/ha).

Interpretación de los índices (muestreo por conglomerado)

Para el área dentro del ANP el índice de Dominancia (D) el cual tiene un rango de 0 (en el que todos los taxones están igualmente presentes) a 1 (un taxón domina completamente la comunidad) presenta un valor de 0.54 indicando una comunidad vegetal en la que existe una especie dominante y varias codominantes, mientras que el índice de diversidad de Simpson (1-D), es una medida de la abundancia relativa de las diferentes especies que componen la riqueza de un área, en este caso cuanto mayor sea el valor, mayor será la diversidad de la muestra (Magurran, 2004). El valor de 0.45 indica una comunidad poco diversa. En el caso del índice de Shannon-Wiener (H), este

aumenta a medida que aumenta la riqueza y la equitatividad de la comunidad, generalmente ubicándose entre valores de 1.5 y 3.5. De acuerdo con los datos obtenidos para el área dentro del ANP, el índice tiene un valor de 0.73, lo que significa una comunidad poco diversa y con diferencia entre la abundancia relativa de las especies que la integran. Para medir la riqueza se utilizan los índices de Margalef y de Menhinick. El valor de índice de Margalef obtenido fue de 0.58, indicando una comunidad con una riqueza de especies muy baja (valores por debajo de 2 indican comunidades con poca riqueza de especies y arriba de 5 comunidades con mucha riqueza de especies), mientras que el valor del índice de Menhinick 0.53 igualmente indica una comunidad con una riqueza baja. En el caso del muestreo por conglomerados fuera del ANP, este presenta valores que indican áreas dominadas por una sola especie ($D = 0.63$) con una abundancia relativa de las especies que no es equitativa ($1-D = 0.36$) y una diversidad pobre ($R1 = 0.62$; $R2 = 0.36$).

Interpretación de los índices (muestreo por sitios circulares de 1000 m²)

En el caso de los valores obtenidos mediante el muestreo en sitios circulares de 1000 m², el índice D (0.28) indica que es una comunidad en la que no existe una sola especie dominante y que, al contrario, cuenta con una diversidad de especies distribuida de manera más o menos equitativa ($1-D = 0.71$). El índice de Shannon indica una comunidad con una diversidad no alta, pero no baja, mientras que los índices de riqueza de especies, en el caso de Menhinick es de 0.48 y de Margalef de 1.28 son bajos (aunque mayores que en el muestreo por conglomerados), esto debido, posiblemente a que son índices fuertemente influenciados por la intensidad del muestreo (Magurran, 2004). Los valores fuera del ANP, representan una mayor dominancia por especies y menor diversidad y riqueza de especies ($D = 0.36$; $1-D = 0.63$; $H = 1.1$; $R1 = .98$; $R2 = 0.47$). Tanto las variables socio-fitológicas como los índices de diversidad y riqueza de especies indican un mejor estado de la vegetación arbórea dentro del ANP que fuera de esta.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE IMÁGENES LANDSAT PARA EVALUAR EL CAMBIO DE LA VEGETACIÓN A TRAVÉS DEL TIEMPO

3.1. Resumen

Desde hace años los estudios sobre los cambios en la cobertura y uso del suelo a través del tiempo se realizan utilizando la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica y la Percepción Remota. Las imágenes obtenidas con esta última tecnología permiten obtener información sobre el uso y la cobertura del suelo a través del proceso de interpretación y clasificación de imágenes. Esta información es relevante para el monitoreo del crecimiento urbano, del cambio de uso del suelo o la evaluación del estado de la vegetación en un área definida, permitiendo cuantificar las ganancias o pérdidas de servicios ecosistémicos. Para este trabajo se utilizaron imágenes Landsat de seis años distintos. Como elementos auxiliares se manejaron capas vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación, ortofotos digitales, cartas topográficas y cartas de uso potencial así como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI). Los tipos diferentes de coberturas se agruparon en cinco categorías de uso del suelo: (A) Áreas semiurbanas y suelo desnudo, (B) Bosque de encino, (C) Chaparral, (D) Matorral, y (E) Pastizal. Posteriormente se hizo una corrección topográfica, se realizó una clasificación supervisada y finalmente se evaluó la precisión de los mapas obtenidos. Con base en estas observaciones, y considerando la evaluación de la precisión del mapa de cambios, no se considera que existan cambios sustanciales en la cobertura forestal en un periodo de 39 en la comunidad del Chiquihuite.

3.2. Introducción

3.2.1 Percepción Remota

La Percepción Remota se refiere a la ciencia y la tecnología para adquirir información de la superficie de la Tierra y de la atmósfera usando sensores montados sobre plataformas aéreas o satelitales. Estos sensores permiten identificar y analizar las características de los objetos de interés sin contacto directo (JARS, 1993; Weng & Qihao, 2013). Esto se realiza a través de la medición de la energía (espectro electromagnético) que es emitida de la superficie de la Tierra, y el resultado de esta medición puede ser una imagen digital (Richards & Jia, 2006). Dependiendo el campo de aplicación de la percepción remota, esta se puede dividir en: (1) percepción remota satelital (mediante el uso de satélites y sensores no fotográficos); (2) fotografía y fotogrametría aérea (cuando se usan fotografías para capturar la información); (3) percepción remota térmica (cuando se usa información del espectro electromagnético únicamente en la porción del infrarrojo térmico); (4) detección de radio y alcance (RADAR) (cuando se utilizan microondas); y (5) detección de luz y alcance (LiDAR) (cuando se utilizan pulsaciones láser que son transmitidas hacia la superficie). Actualmente se han integrado con otras tecnologías geoespaciales como los Sistemas de Información Geográfica y los Sistemas de Geoposicionamiento Global (GPS) (Weng & Qihao, 2013).

El uso de técnicas de percepción remota permite la obtención de información geoespacial para determinar y monitorear los recursos naturales que tiene la Tierra. Estas observaciones de la superficie terrestre, océanos y la atmósfera son cruciales para proteger el ambiente a una escala global, reduciendo las pérdidas por desastres naturales y permitiendo el desarrollo sustentable (Navalgund, Jayaraman, & Roy, 2007).

La percepción remota basada en el uso de sensores montados en satélites es la herramienta por excelencia para obtener observaciones repetitivas y sinópticas. Estos datos pueden ser usados en aplicaciones distintas, como en el monitoreo del uso del suelo, inventarios forestales o la evaluación de daños debido a fenómenos naturales como inundaciones y sequías, entre otros (Navalgund et al., 2007).

En este sentido, el programa Landsat ha proveído un flujo continuo de datos de sensores remotos para monitorear y administrar los recursos de la Tierra durante más de 38 años, siendo la única fuente de datos multiespectrales de alta resolución que pueden ser comparados con datos anteriores (NASA, 2011) y que permite realizar estudios multitemporales (e. g. monitoreo del crecimiento urbano, cambio de uso del suelo y/o la evaluación del estado de la vegetación, y sus cambios a través del tiempo) tanto para evaluar ecosistemas completos o incluso áreas definidas para la protección de los recursos naturales (e. g. ANP) y poder cuantificar, por ejemplo, las ganancias o pérdidas en cuestión de servicios ecosistémicos (Cano Salinas, Rodríguez Laguna, Valdez Lazalde, Acevedo Sandoval, & Beltrán Hernández, 2017; Sánchez-Reyes et al., 2017; Yim et al., 2018). El programa Landsat es de gran relevancia en el monitoreo de la cobertura terrestre debido a que es el programa ininterrumpido de observación de la Tierra de mayor duración y sus archivos se encuentran disponibles al público de manera gratuita desde 2008 (Phiri & Morgenroth, 2017; Woodcock et al., 2008; Figura 9).

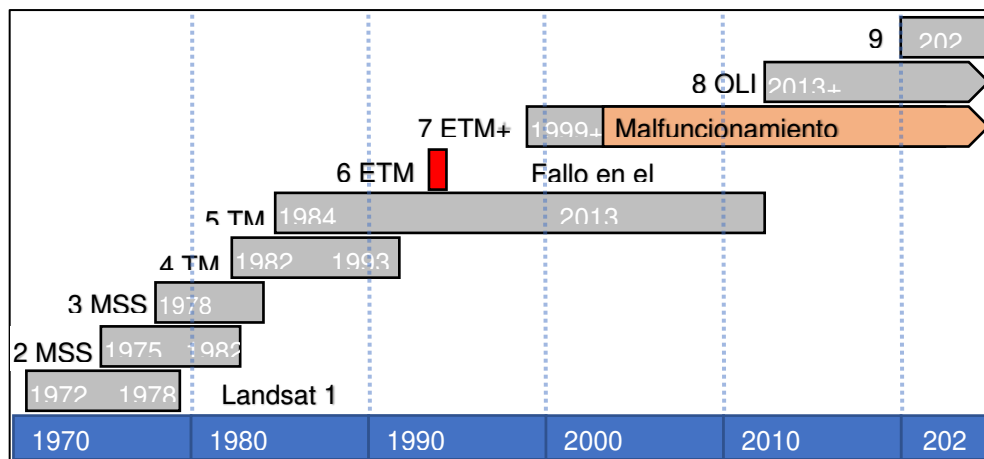


Figura 1. Línea del tiempo de los satélites del programa Landsat lanzados desde 1972 hasta la fecha. Se considera la próxima misión Landsat prevista para el 2020. Se indican las misiones sin contratiempos (gris) y aquellas que tuvieron un malfuncionamiento (naranja) o que no se pudieron poner en órbita (rojo) (Elaboración propia con información de las misiones Landsat).

3.2.2. Clasificación de imágenes

Las imágenes satelitales registran información sobre el uso y la cobertura del suelo a través del proceso de interpretación y clasificación de imágenes (Li, Zang, Zhang, Li, & Wu, 2014), esta última, es una técnica de procesamiento de imágenes digitales que permite la identificación de materiales en una imagen, de acuerdo con sus firmas espectrales (Congedo, 2016), esto se puede dividir en dos etapas, la primera en el que se realiza el reconocimiento de categorías de uso del suelo o cobertura y la segunda etapa, en el que se etiquetan las unidades a clasificar (e. g. píxeles). Estas etiquetas son numéricas, por lo que a un píxel que se reconoce como perteneciente a una clase o cobertura se le puede asignar la etiqueta "1", y así sucesivamente dependiendo el número de clases que se definan (Mather & Koch, 2011).

Para generar información sobre el uso del suelo en diferentes escalas, se han desarrollado técnicas de clasificación desde la década de 1980. Algunas de estas técnicas usan el píxel como unidad básica con la cual cada píxel se etiqueta como una clase de cobertura terrestre de uso del suelo (Li et al., 2014).

El desarrollo de los métodos de clasificación va de la mano con la puesta en marcha de diferentes misiones satelitales y el progreso en las ciencias computacionales, siendo de gran importancia el programa Landsat, ya que ha proporcionado información sobre la superficie de la tierra desde el año de 1972 hasta la fecha, a través de diferentes satélites que han aportado con el tiempo, una mayor resolución espacial, espectral y radiométrica en los sensores montados (Phiri & Morgenroth, 2017).

Aquí se realiza una clasificación supervisada utilizando el clasificador estadístico de máxima verosimilitud (Maximum Likelihood) de una serie de imágenes Landsat de 1978, 1993, 2000, 2005, 2010 y 2017. Los productos obtenidos a partir de estas clasificaciones son mapas de uso de suelo, la comparación de los obtenidos de dos fechas representan de manera explícita el cambio, esta información espacial permite calcular el área total o una proporción de una área de interés teniendo en cuenta intervalos de confianza (Olofsson et al., 2014).

Como elemento auxiliar para la clasificación supervisada, se utilizaron índices de vegetación. Estos permiten delinear la distribución de la vegetación y el suelo en función de los patrones de reflectancia características de la vegetación verde (Gandhi, Parthiban, Thummalu, & Christy, 2015). Estos índices se pueden correlacionar con parámetros que describen el área foliar, la biomasa o el funcionamiento fisiológico de la vegetación, sin embargo, únicamente indican la abundancia de clorofila y la absorción de energía (Myneni, Hall, Sellers, & Marshak, 1995).

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI, por sus siglas en inglés) es un indicador numérico simple que se puede usar para analizar las mediciones de los sensores remotos desde una plataforma remota y evaluar si el objetivo u objeto que se observa contiene vegetación verde viva o no (Gandhi et al., 2015). Este índice se expresa como la relación entre la reflectancia de la

banda roja (RED) y la banda infrarroja cercana (NIR): $[NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)]$. Esta fórmula se basa en el hecho de que la clorofila absorbe la luz roja, mientras que la estructura de la hoja mesófila llena de agua, dispersa la radiación infrarroja. Esto se puede traducir en el sentido de que el grado de verdor es igual a la concentración de clorofila en las hojas de la planta. Por lo tanto, los valores de NDVI varían de -1 a +1, donde los valores negativos corresponden a una ausencia de vegetación (Gandhi et al., 2015; Myneni et al., 1995; Pettorelli et al., 2005; USGS, 2017).

Finalmente, uno de los puntos más importantes de la clasificación es evaluar la calidad de los mapas producidos, de tal manera que se pueda cuantificar y reducir la incertidumbre de los datos representados. Esto es importante tanto para quienes los elaboran como para los usuarios, y se tiene que realizar de una manera consistente y transparente. Además, el valor del mapa va en función de la exactitud de la clasificación (FAO, 2016; Foody, 2002; Olofsson et al., 2014; Strahler et al., 2006).

Actualmente, los productos obtenidos a través de la percepción remota, como los mapas temáticos, son robustos, sin embargo, cualquier mapa realizado a partir de estos datos contiene algún error con las áreas calculadas a partir del mapa (esto debido a la obvia incapacidad de representar condiciones espaciales y categóricas continuas en clases discretas), pero con una tendencia a seguir implementando mejoras con tal de disminuir estos errores (Olofsson et al., 2014). Además de esto, la estimación del área tanto de cobertura/uso del suelo o del cambio del suelo siempre representa un valor agregado a los mapas que cuantifican el cambio de uso de suelo y que tienen aplicaciones en escalas locales, nacionales y globales (Olofsson et al., 2014). La estimación de la exactitud del mapa y la estimación del área se pueden realizar de manera simultánea utilizando los datos de muestra obtenidos mediante una metodología estándar de la evaluación de la precisión (Stehman, 2011).

Algunos autores (Foody, 2002; Olofsson et al., 2014; Strahler et al., 2006) concuerdan en que la noción de evaluación de la precisión está bien establecida dentro de la comunidad que trabaja con percepción remota. Sin embargo, los estudios que se realizan sobre uso de suelo o cambio de uso de suelo no evalúan la precisión de los mapas finales, como ejemplo, aquellos elaborados para evaluar estos procesos en ANP en México y en otras partes del mundo (CONANP, 2009b; Nagendra et al., 2013; Sánchez-Reyes et al., 2017). Sólo algunos estudios publicados realizan un uso completo de la información obtenida a través de la evaluación de la precisión (Olofsson et al., 2014; Olofsson, Foody, Stehman, & Woodcock, 2013).

La evaluación de la precisión compara la clasificación del mapa temático (uso de suelo/cambio de uso de suelo) con datos de referencia de mayor calidad (Stehman, 2011), recopilados a través de un enfoque basado en un muestreo. Aunque datos de referencia con una calidad superior se pueden obtener a través de trabajo en campo, muchas veces esto es costoso y laborioso, por lo tanto, es más común el uso imágenes satelitales o fotografías aéreas con una resolución espacial más fina que los datos para realizar el mapa. Aunado a esto y a falta de mejores datos de referencia, se puede utilizar la interpretación visual de los datos de referencia (FAO, 2016).

A continuación, se definen los conceptos de las medidas de precisión comúnmente usadas de acuerdo con Olofsson y colaboradores (2013), quienes proponen una metodología para la evaluación la precisión y estimación del área del mapa.

- La Precisión (Accuracy) se define como el grado en que el mapa se produjo de acuerdo con la clasificación de referencia.
- La Precisión General (Overall Accuracy) es la proporción del área mapeada correctamente. Esto provee al usuario del mapa con la

probabilidad de que una ubicación seleccionada aleatoriamente en el mapa se clasifique correctamente.

- La Precisión del Usuario (User's Accuracy) es la proporción del área mapeada como una categoría particular que es en realidad esa categoría "en el suelo" donde la clasificación de referencia es la mejor evaluación de la condición del terreno. La Exactitud del Usuario es el complemento de la probabilidad del error de comisión.
- La Precisión del Productor (Producer's Accuracy) es la proporción del área que es una categoría particular en el terreno que se ha asignado como esa categoría. La precisión del productor es el complemento de la probabilidad del error de omisión.
- El Coeficiente de Acuerdo Kappa (kappa Coefficient of agreement) se usa a menudo como una medida general de precisión. Kappa incorpora un ajuste por "acuerdo de asignación aleatoria", pero la validez de tal ajuste es objetada por algunos autores (Foody, 2002). Olofsson y colaboradores (2013) recomiendan que no se use para la evaluación de la exactitud en mapas de cambio de uso de suelo.

3.3. Materiales y Métodos

3.3.1. Adquisición de los datos

Se utilizaron imágenes Landsat de seis años distintos. Esta es la única fuente de datos multiespectrales de alta resolución que permite realizar este tipo de estudios multitemporales, debido a los más de 40 años que tiene en funcionamiento a través de sus diferentes misiones (NASA, 2011). La disponibilidad de las escenas se verificó y se requirieron a través del sitio web

<https://earthexplorer.usgs.gov>. Se seleccionaron únicamente escenas con cobertura de nubes = 0% para el área de estudio. De igual forma, todas las imágenes se obtuvieron de un mismo rango temporal entre los meses de septiembre y octubre, con el objetivo de minimizar el efecto estacional sobre la vegetación (Sánchez-Reyes et al., 2017) (Tabla 1). La escena seleccionada del año 1978 es un producto L1TP (Level 1 Terrain corrected; (USGS, 2018b), calibrada radiométricamente y ortorectificada. Estos productos son adecuados para realizar análisis multitemporales a nivel de pixel (USGS, 2018c), no obstante, son productos sin corrección atmosférica. En este caso, se realizó utilizando el complemento Semiautomatic Classification Plugin (SCP) utilizando el método de corrección atmosférica Dark Object Subtraction 1 (DOS1), previo al recorte de la escena al área de interés. Las escenas obtenidas de 1993, 2000, 2005, 2010 y 2017 son productos de alto nivel de reflectancia de la superficie (Tier 1 - Nivel 1) con ≤ 12 m de corrección geométrica (USGS, 2018d). Se optó por usar este nivel de procesamiento debido a que son productos listos para usar, con mayor precisión en las correcciones que las que se pueden alcanzar con el complemento SCP (Congedo, 2016; Young et al., 2017).

Los Números Digitales (ND) no pueden ser usados para estudios multitemporales debido a la degradación propia del sensor así como diferencias entre los sensores (Young et al., 2017). El área de interés se delimitó con base en los archivos vectoriales disponibles del Registro Agrario Nacional (Registro Agrario Nacional (RAN), 2018a) que se utilizaron como insumo para recortar y extraer las imágenes en cada una de las bandas, todas en la misma extensión geográfica. El tamaño de celda de la imagen de 1978 se escaló de 60 m a 30 m para mantener la uniformidad en el análisis (Sánchez-Reyes et al., 2017).

Tabla 2. Detalles de las imágenes Landsat y parámetros utilizados para el análisis del cambio en la cobertura del uso del suelo (WRS = Sistema de Referencia Mundial) (elaboración propia a partir de datos de las misiones Landsat y de cartas de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI).

Satélite	Sensor	(WRS)	Fecha de la imagen	Resolución espacial	Bandas para extracción de la firma espectral	Concordancia con información vectorial de INEGI
Landsat 3	MSS	031/044	31 oct 1978	60 m	4, 5, 6, 7	Serie I (1968-1986)
Landsat 5	TM	029/044	25 oct 1993	30 m	1, 2, 3, 4, 5, 7	Serie II (1990)
Landsat 7	ETM	029/044	18 sept 2000	30 m	1, 2, 3, 4, 5, 7	Serie III (2000-2002)
Landsat 5	TM	029/044	24 oct 2005	30 m	1, 2, 3, 4, 5, 7	Serie IV (2005)
Landsat 5	TM	029/044	24 oct 2010	30 m	1, 2, 3, 4, 5, 7	Serie V (2011)
Landsat 8	OLI	029/044	27 oct 2017	30 m	1, 2, 3, 4, 5, 7	Serie VI (2014)

Como elementos auxiliares se utilizaron capas vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación, ortofotos digitales, cartas topográficas y cartas de uso potencial. Esta información se obtuvo a través del INEGI y de la CONAFOR (Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), 1972b, 1972a; CONAFOR, 2014; INEGI, 1997a, 1997b, 1997c, 1997d, 2001, 2002, 2005, 2009, 2013, 2015, 2016a, 2016b; Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) & Instituto Nacional de Ecología (INE), 1997). De igual manera se consultaron imágenes de satélite recientes a través de Google Earth (2010 y 2011) así como el conocimiento previo en campo del área de interés. En total, se eligieron mínimo 100 píxeles por clase por imagen. Las categorías de uso del suelo se definieron tomando en cuenta la cartografía existente (CONAFOR, 2014), literatura (CONANP, s/f; Sánchez-Reyes et al., 2017), la resolución espacial de las imágenes Landsat (USGS, 2018e) y el conocimiento previo del área de estudio.

Como elemento auxiliar para la clasificación también se utilizó un índice de vegetación: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI), expresado como la diferencia entre la banda infrarroja cercana y la banda roja, y la suma

de estas. Este índice permite examinar el vigor, crecimiento de la vegetación, salud y la biomasa (United States Geological Survey (USGS), 2017). Para esto se creó una capa de NDVI para cada uno de los cinco años.

Los tipos diferentes de coberturas se agruparon en cinco categorías de uso del suelo: (A) Áreas semiurbanas y suelo desnudo, (B) Bosque de encino, (C) Chaparral, (D) Matorral, y (E) Pastizal (Tabla 13).

Tabla 3. Categorías de Uso de Suelo (elaboración propia).

Categoría	Descripción
Sin vegetación aparente	Áreas semiurbanas; áreas con vegetación escasa; áreas de suelo desnudo; rocas.
Vegetación secundaria de bosque de encino	Vegetación secundaria de bosque de encino; dominancia de <i>Juniperus</i> , <i>Arctostaphylos</i> sp.
Pastizal	Vegetación herbácea escasa; pradera; cubierta de hierba a nivel del suelo; cultivos sin vegetación densa; cultivos abandonados; pastizales densos; vegetación de cultivos densos.
Matorral	Matorral desértico denso; Matorral desértico escaso.
Bosque de encino	Vegetación densa de bosque de encino; bosque de encino-pino.

3.3.2. Preprocesamiento de imágenes Landsat

Antes de que los datos puedan ser utilizados para la clasificación, las imágenes deben preprocesarse con el fin de corregir los efectos solares, atmosféricos, topográficos y de los sensores que pudieran haber, principalmente al momento de realizar análisis multitemporales (Young et al., 2017). Se realizó la corrección topográfica mediante QGIS a todas las imágenes con el fin de minimizar los efectos en la irradiancia espectral causados por los cambios en la pendiente y orientación del terreno mediante el método modificado de Minnaert (MM), ya que genera una clasificación visual general óptima para terrenos escarpados (Richter, Kellenberger, & Kaufmann, 2009; Vázquez-Jiménez, Romero-Calcerrada, Ramos-Bernal, Arrogante-Funes, & Novillo, 2017).

3.3.3. Clasificación para la detección de cambios

Se pueden utilizar dos enfoques distintos para poder evaluar cambios temáticos por área: la preclasificación, en la que se comparan los valores espectrales de distintas fechas y posteriormente se clasifican los píxeles de acuerdo con el cambio observado en los valores; y la postclasificación, que implica clasificar imágenes de fechas distintas para posteriormente poder comparar dos mapas categóricos e identificar cambios. En este caso, el análisis se centra en la identificación de cambios entre clases o categorías de uso de suelo (Olofsson et al., 2013; Young et al., 2017). Para este estudio, se seleccionó un método de clasificación supervisada para realizar el proceso de imágenes Landsat mediante el software libre QGIS versión 3.2.3 Bonn (QGIS, 2018) y el complemento Semiautomatic Classification Plugin (SCP) (Congedo, 2016). El algoritmo usado para clasificación fue MAXLIKE, debido a resultados positivos en cuanto a la precisión como se reporta en trabajos diversos (Berlanga-Robles & Ruiz-Luna, 2006; Fan, Weng, & Wang, 2007; Kovacs et al., 2008; Muñoz-Villers & López-Blanco, 2008; Nagendra et al., 2013; Patil, Desai, & Umrikar, 2012; Peng et al., 2008; Phiri & Morgenroth, 2017; Sánchez-Reyes et al., 2017; Sloan, 2012; Soffianian & Madanian, 2015; Vieira et al., 2003).

Para realizar la clasificación supervisada se seleccionaron Regiones de Interés o Áreas de Entrenamiento, los cuales son “polígonos dibujados sobre áreas homogéneas de la imagen que cubren píxeles pertenecientes a la misma cobertura del suelo” (Congedo, 2016), para cada cobertura del suelo identificada (Tabla 14). Se generó la firma espectral para cada categoría de uso de suelo en función de las áreas de entrenamiento seleccionadas, se revisó que fueran espectralmente distintas entre cada una de ellas. Finalmente, la imagen fue clasificada utilizando el algoritmo MaxLike. Las imágenes clasificadas se analizaron para obtener los valores y porcentajes de extensión en km² para cada categoría Uso del Suelo. (Congedo, 2016).

Para la generación y análisis de la clasificación supervisada de imágenes Landsat se utilizó el flujo de trabajo mostrado en la figura 10. En este caso no se utilizaron puntos de control para determinar la precisión de la clasificación debido a la imposibilidad de tomar puntos aleatorios en el área.

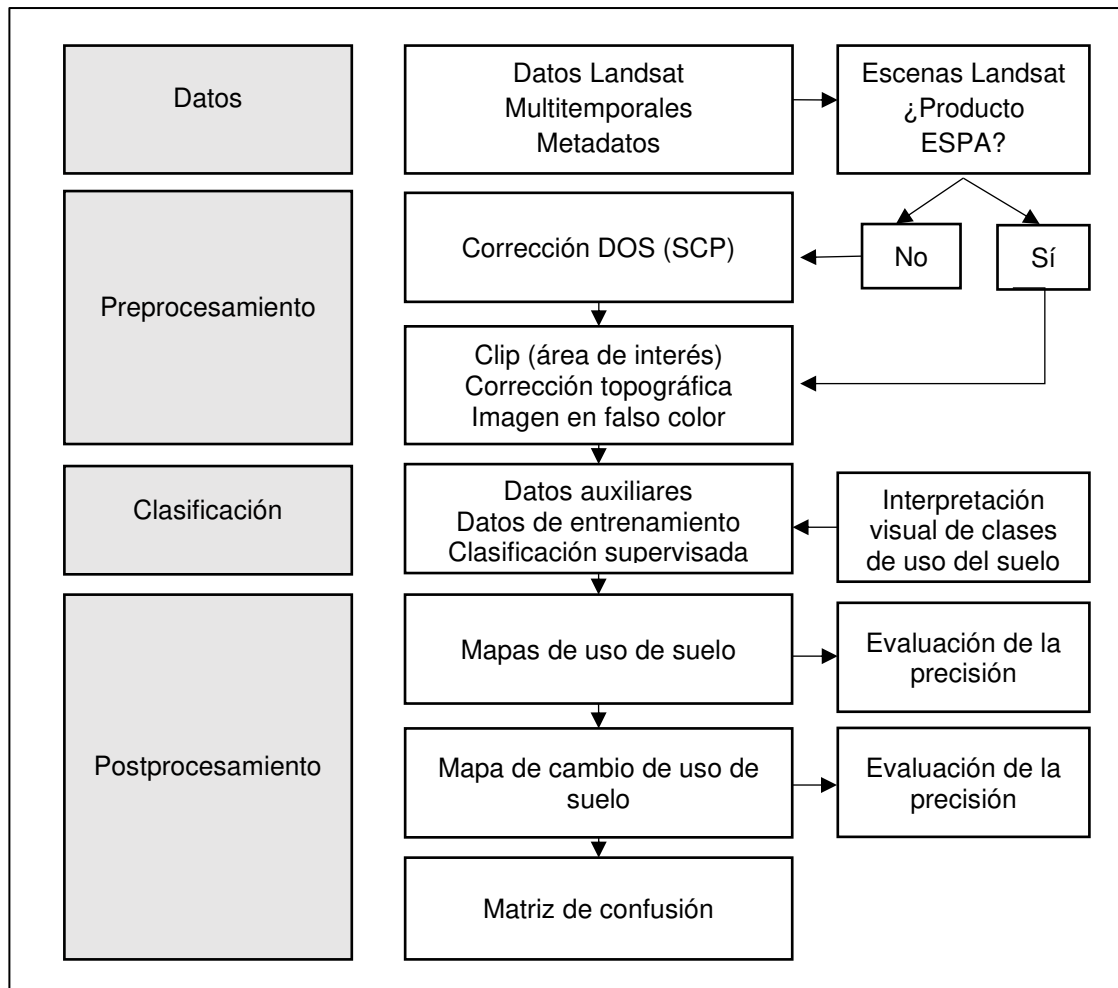


Figura 2. Flujo de trabajo de la clasificación supervisada para este trabajo (elaboración propia).

3.3.4. Índices de Vegetación

Para el cálculo de este índice espectral se utilizó la siguiente expresión:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

La cual es adaptada de acuerdo con las bandas en cada sensor de las misiones Landsat, siendo diferente para las misiones Landsat 3, Landsat 5 y Landsat 8 (USGS, 2017) como se muestra a continuación:

En Landsat 3:

$$NDVI = \frac{Band\ 6 - Band\ 5}{Band\ 6 + Band\ 5}$$

En Landsat 5-7:

$$NDVI = \frac{Band\ 4 - Band\ 3}{Band\ 4 + Band\ 3}$$

En Landsat 8:

$$NDVI = \frac{Band\ 5 - Band\ 4}{Band\ 5 + Band\ 4}$$

Durante el proceso de clasificación supervisada de las imágenes, el NDVI se utilizó como elemento auxiliar, debido a que los diferentes tipos de vegetación presentes en el área tienen distintos valores de NDVI.

Tabla 4. Clases respectivas a cada categoría de uso del suelo (elaboración propia).

MC ID	Categoría	Descripción
1	Sin vegetación aparente	Áreas semiurbanas; áreas con vegetación escasa; áreas de suelo desnudo; rocas.
2	Vegetación secundaria de bosque de encino	Vegetación secundaria de bosque de encino; dominancia de <i>Juniperus</i> , <i>Arctostaphylos</i> sp.
3	Pastizal	Vegetación herbácea escasa; pradera; cubierta de hierba a nivel del suelo; cultivos sin vegetación densa; cultivos abandonados; pastizales densos; vegetación de cultivos densos.
4	Matorral	Matorral desértico denso; Matorral desértico escaso.
5	Bosque de encino	Vegetación densa de bosque de encino; bosque de encino-pino.

3.3.5. Evaluación de la Precisión

En este caso se siguió la metodología y flujo de trabajo de acuerdo con la guía práctica de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la

Agricultura (FAO) (FAO, 2016), basada en los trabajos de Olofsson y colaboradores (2013) (Figura 12).

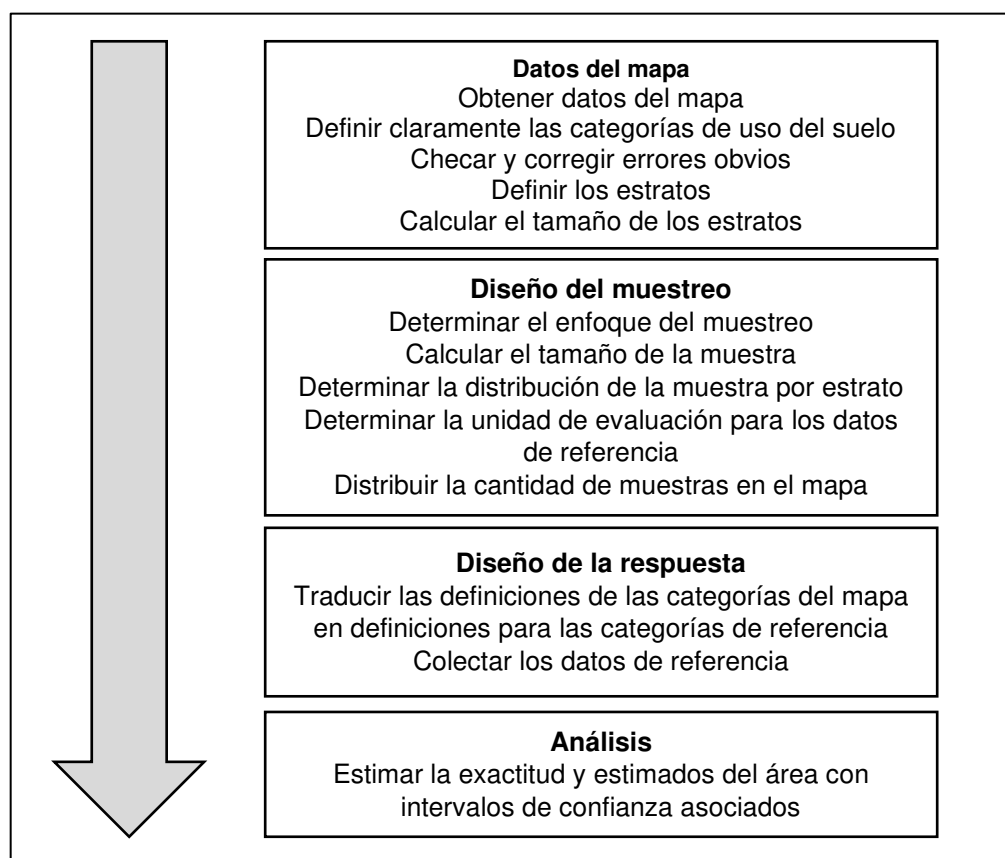


Figura 3. Flujo de trabajo para realizar la evaluación de la exactitud. Modificado de (FAO, 2016).

Datos del mapa

El primer paso fue un control de calidad general de los datos del mapa, realizado mediante la evaluación visual de este, en busca de errores entre transiciones que no correspondan a la realidad. Estos errores fueron corregidos antes de continuar con la evaluación de precisión. A continuación, los estratos se definieron y se calculó su tamaño. Los estratos son mutuamente excluyentes, lo que significa que cada píxel se encuentra asignado a una clase de estratos. La suma de todos los píxeles en los estratos define el área de estudio total (FAO, 2016).

3.3.6. Diseño del muestreo

El diseño del muestreo define la ubicación y arreglo de las parcelas, lo que constituye la base para la evaluación de la precisión. En este caso y siguiendo la guía de la FAO (2016) para los mapas de uso de suelo se utilizó un enfoque de muestreo estratificado ya que se pueden reportar resultados de la exactitud por cada categoría de Uso del Suelo, así como asegurar una representación suficiente de categorías raras (FAO, 2016).

3.3.7. Determinación del tamaño de la muestra

La determinación del tamaño de la muestra depende de la precisión e información del área que no se conoce a priori. Es por esto por lo que se usó una “estimación sobre la precisión” para el cálculo del tamaño de la muestra. La información del área se basó en la cantidad de unidades espaciales del mapa (en este caso píxeles). La exactitud por lo general será mayor para las clases más grandes (FAO, 2016). La siguiente ecuación (Cochran, 1977), calcula el tamaño total de la muestra aleatoria estratificada, que luego se distribuye entre las diferentes clases:

$$n = \frac{(\sum W_i S_i)^2}{[S(\hat{O})]^2 + (\frac{1}{N}) \sum W_i S_i^2} \approx (\sum \frac{W_i S_i}{S(\hat{O})})^2$$

N = población total de la muestra (superficie total)

S(O) = es el error estándar de la precisión global

W_i = es la proporción del estrato del mapa

S_i = es la desviación estándar del estrato i

El tamaño de la muestra calculada a partir de esta ecuación se distribuyó de manera equilibrada como una asignación proporcional a cada estrato. Se utilizó un tamaño mínimo de la muestra de 20 puntos por estrato (Congalton & Green, 2010).

3.3.8. Diseño de respuesta

La resolución espacial fue de un píxel (30 m); la unidad de evaluación espacial fue, de igual manera, de un píxel (30 m), utilizando un muestreo aleatorio estratificado. Los estratos se dividieron en cinco categorías como se indica en la Tabla 14.

Mapa 1978

Los datos de referencia fueron mapas de la carta de Uso de Suelo y la carta Topográfica del año 1972 (CETENAL, 1972a, 1972c), así como el archivo vectorial de Uso de Suelo y Vegetación Serie I con información recabada entre 1968 y 1986 (INEGI & INE, 1997) y Google Earth para evaluar zonas que es poco probable que cambien a través del tiempo (e. g. zonas rocosas).

Mapa 1993

Los datos de referencia fueron ortofotos aéreas escala 1:20 000 que abarcan el área de estudio así como el archivo vectorial de Uso de Suelo y Vegetación Serie II con información recabada en 1990 (INEGI, 1997a, 1997b, 1997c, 1997d, 2001) y Google Earth para evaluar zonas que es poco probable que cambien a través del tiempo (e. g. zonas rocosas).

Mapa 2000

Los datos de referencia fueron ortofotos aéreas escala 1:20 000 que abarcan el área de estudio así como el archivo vectorial de Uso de Suelo y Vegetación Serie III con información recabada en 2000-2002 (INEGI, 1997a, 1997b, 1997c, 1997d, 2001) y Google Earth para evaluar zonas que es poco probable que cambien a través del tiempo (e. g. zonas rocosas).

Mapa 2005

Los datos de referencia fueron los datos vectoriales de la carta de Uso de Suelo y Vegetación serie IV escala 1: 250 000, datos vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación escala 1: 50 000 y la carta topográfica escala así como imágenes recientes de Google Earth (CONAFOR), 2014; INEGI, 2013).

Mapa 2010

La unidad de mapeo mínima fue de un píxel (30 m); la unidad de evaluación espacial fue, de igual manera, de un píxel (30 m), utilizando un muestreo aleatorio estratificado. Los estratos se dividieron en cinco clases como se indica en la Tabla 2. Los datos de referencia fueron los datos vectoriales de la carta de Uso de Suelo y Vegetación serie V escala 1: 250 000, datos vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación escala 1: 50 000 y la carta topográfica escala así como imágenes recientes de Google Earth (CONAFOR), 2014; INEGI, 2013).

Mapa 2017

Los datos de referencia fueron los datos vectoriales de la carta de Uso de Suelo y Vegetación serie VI escala 1: 250 000, datos vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación escala 1: 50 000 y la carta topográfica escala 1: 50 000 del año 2016 así como imágenes recientes de Google Earth (CONAFOR, 2014; INEGI, 2013, 2016a).

Mapa de cambio de uso de suelo 1978-2017

Los estratos se dividieron en cuatro clases: (1) Forestal-No forestal; (2) No forestal-Forestal; (3) Sin cambios; (4) Forestal-Forestal. Los datos de referencia fueron los datos vectoriales de la carta de Uso de Suelo y Vegetación serie VI escala 1: 250 000, datos vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación escala 1: 50

000 y la carta topográfica escala 1: 50 000 del año 2016 así como imágenes recientes de Google Earth (CONAFOR, 2014; INEGI, 2013, 2016a). de igual manera ortofotos digitales del año 1997 y la carta de uso de suelo y vegetación de 1976.

3.3.9. Análisis

Para el análisis de los datos se utilizó la matriz de confusión o también llamada matriz de error, la cual contrasta el mapa y la clasificación de referencia (FAO, 2016). Esta es una matriz cuadrada de números establecidos en filas y columnas que expresa el número de unidades de muestra asignadas a una categoría particular (clase) en una clasificación en relación con el número de unidades de muestra asignadas a una categoría particular en otra clasificación. Las columnas representan los datos de referencia (información correcta), mientras que las filas indican la clasificación generada a partir de los datos detectados de forma remota (es decir, el mapa) (Congalton & Green, 2010; Olofsson et al., 2014; Figura 13). Para obtener las matrices de confusión así como las medidas de precisión derivadas de esta matriz, con el fin de calcular intervalos de confianza de manera automática, se utilizó la Herramienta de muestreo estratificado para estimación de área de la FAO (2016) mediante el uso de la paquetería R (R Core Team, 2014).

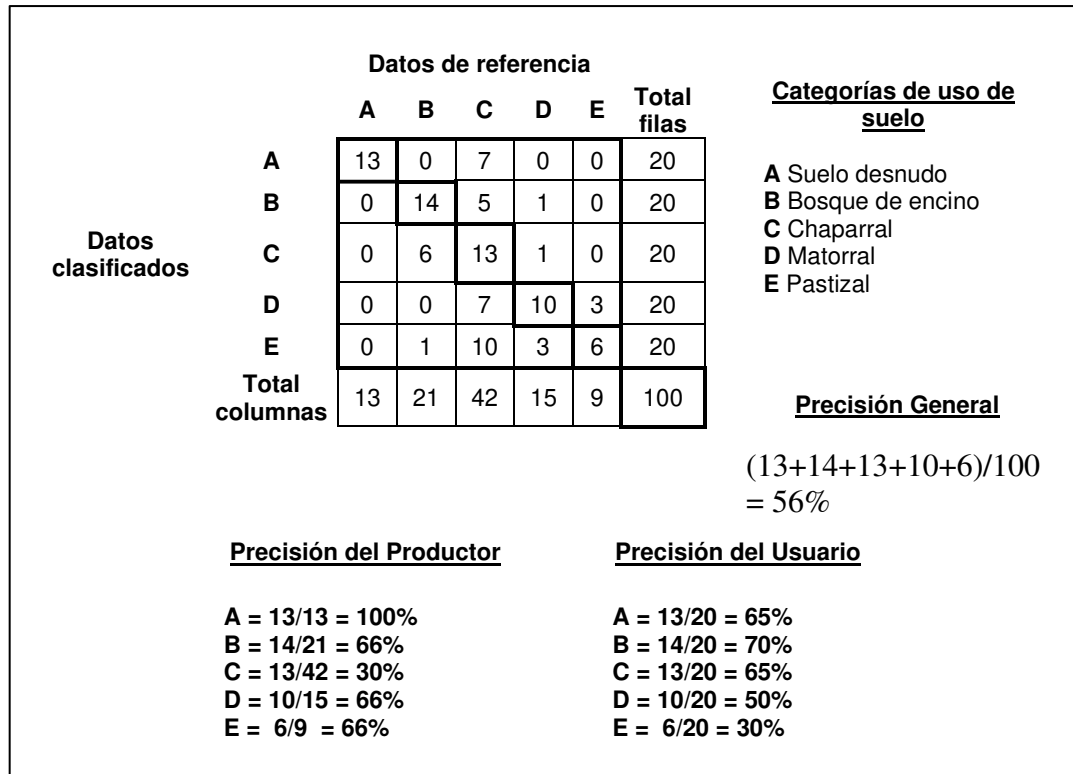


Figura 4. Ejemplo de matriz de error (elaboración propia basado en Congalton & Green, 2010).

3.3.10. Estimación del área a partir de la matriz de error

La proporción del área P_{ij} y el número de píxeles N_{ij} para cada celda de la matriz de error de población se puede estimar a partir de estos datos. Para la estimación de áreas con sus respectivos intervalos de confianza, se utilizó la herramienta de muestreo estratificado para estimación de área de la FAO (2016) mediante el uso de la paquetería R (R Core Team, 2014).

3.3.11. Interpretación de los resultados

No hay una regla general sobre cual es un nivel aceptable sobre la precisión de la clasificación, incluso a partir de un mapa con una precisión baja, se pueden derivar estimaciones de área significativas y precisas si los datos de referencia se recopilan de manera exhaustiva. El ajuste del área del mapa ya sea que el

área ajustada sea mayor o menor que el área del mapa se puede comprender comparando la matriz de errores que muestra los datos del muestreo. El área del mapa para un estrato particular se ajusta a un área más grande cuando el número de unidades de referencia muestreadas es mayor que las unidades del mapa espacial para ese estrato (FAO, 2016).

Para la evaluación del cambio en la cobertura del suelo, es necesario tener en cuenta la precisión del cambio en esta cobertura y no con la precisión de dos mapas de cobertura únicos. Aunque ambos mapas de fechas distintas puedan tener una precisión alta para un sólo punto en el tiempo, no proporciona ninguna información sobre la precisión de las clases de cambio. Es necesario un nuevo análisis de cambios en lugar de comparar mapas de diferentes tiempos. Esto se debe a que el cambio usualmente ocupa una pequeña porción de un área y con frecuencia es más pequeño que el error acumulativo de las producciones de mapas individuales (Global Forest Inventories Observations Initiative (GFOI), 2013).

3.4. Resultados

Resultados de la evaluación de la precisión para el mapa de 1978

La precisión general es de 68%. La cobertura con una mayor precisión del usuario fue el bosque de encino, mientras que el matorral y la vegetación secundaria de bosque de encino fueron las más imprecisas, con 30% y 55% respectivamente. Esto, debido posiblemente a la similitud espectral que presentan en el campo estas clases, de igual manera difíciles de determinar en áreas de ecotonos o de transición, en las que se tiene vegetación secundaria de bosque de encino, de matorral y de pastizal juntas en una resolución espacial de 30 m y con la resolución espectral de únicamente 4 bandas de Landsat 3. Esto resulta en una sobreestimación de estas clases de acuerdo con la estimación de áreas a partir de la matriz de errores (Figura 15; Tabla 16).

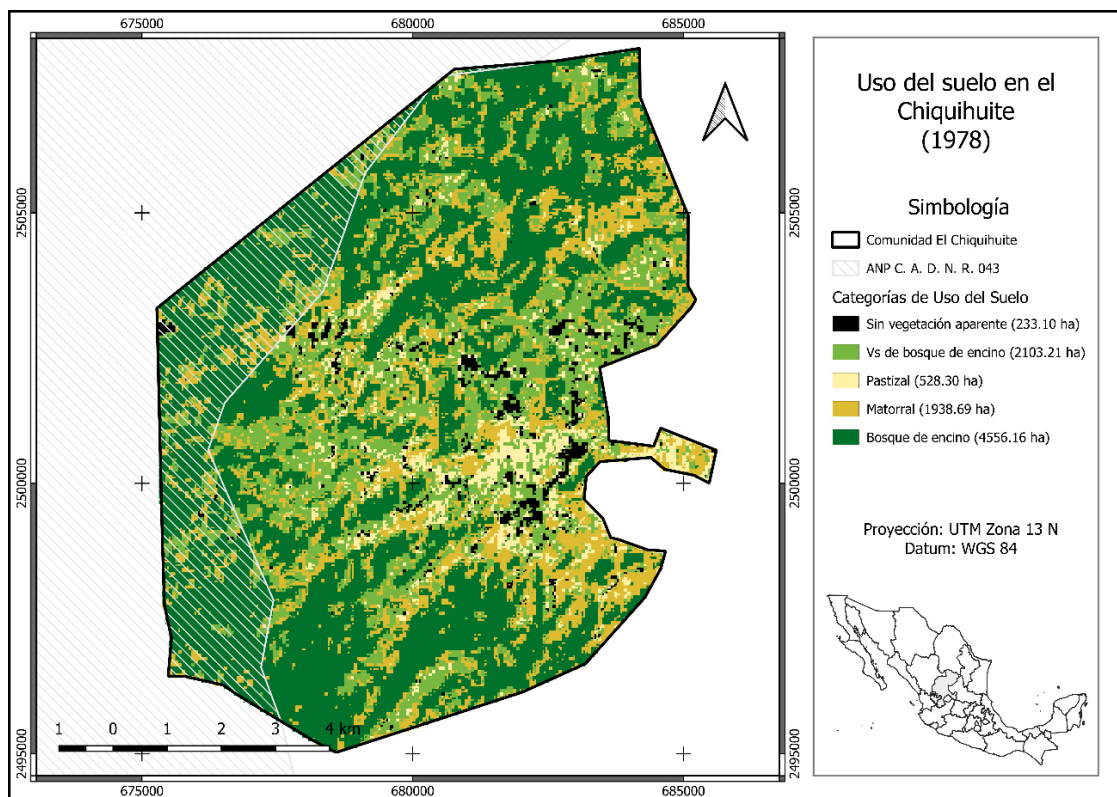


Figura 5. Uso de suelo en 1978 de la Comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia en QGIS 3.3).

Tabla 5. Matriz de error de la clasificación del mapa de 1978.

		Datos de referencia					
Datos clasificados		A	B	C	D	E	Total filas
	A	16	2	0	1	1	20
	B	1	11	0	0	8	20
	C	0	0	14	5	1	20
	D	2	0	0	6	12	20
	E	2	0	0	1	28	31
	Total columnas	21	13	14	13	50	111

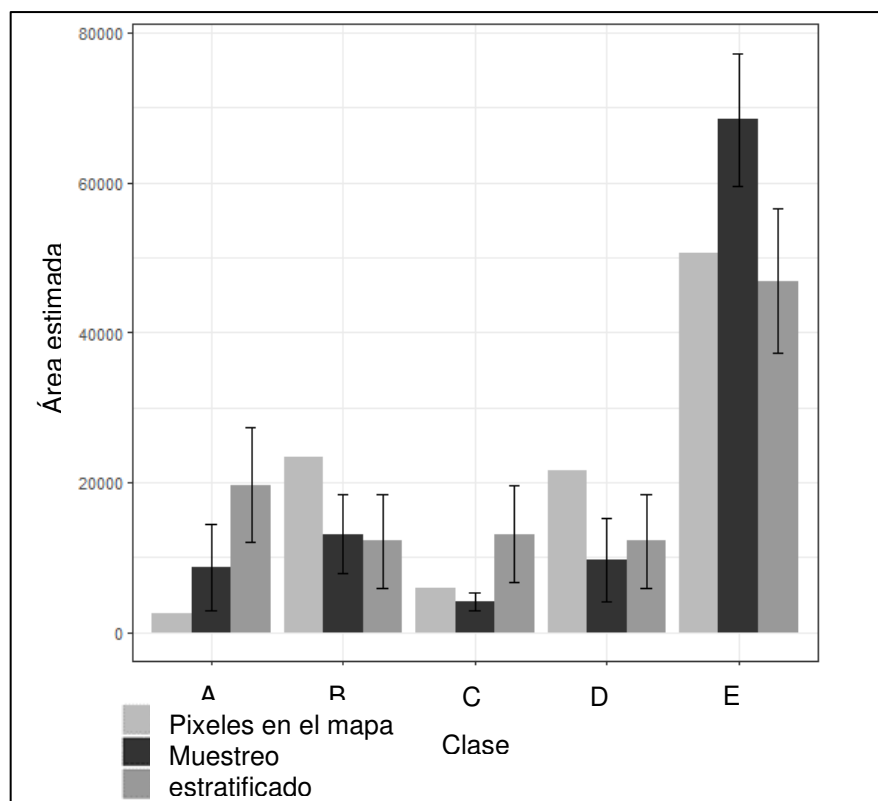


Figura 6. Estimación de áreas a partir de la clasificación mediante diseños de muestreo aleatorio simple y estratificado (1978) (Intervalo de confianza del 95%).

Tabla 6. Precisión de la clasificación del mapa de 1978.

Categoría	Precisión del productor	Precisión del productor ponderada	Precisión del usuario	Píxeles totales	Área (ha)	Relativo
A Sin vegetación aparente	0.76	0.24	0.80	2590	233.10	2%
B Vegetación secundaria de bosque de encino	0.85	0.98	0.55	23369	2103.21	22%
C Pastizal	1.00	1.00	0.70	5870	528.30	6%
D Matorral	0.46	0.67	0.30	21541	1938.69	21%
E Bosque de encino	0.56	0.67	0.90	50624	4556.16	49%

Tabla 7. Error estándar e intervalos de confianza de los muestreos aleatorios para el mapa de 1978 en píxeles (Intervalo de confianza del 95%).

Categoría	Número de muestras	Muestreo aleatorio estratificado		Muestreo aleatorio simple	
		Estimación del área	Área del intervalo de confianza (95%)	Estimación del área	Área del intervalo de confianza (95%)
A Sin vegetación aparente	21	8660	5806	19674	7577
B Vegetación secundaria de bosque de encino	13	13111	5239	12179	6221
C Pastizal	14	4109	1209	13116	6422
D Matorral	13	9692	5596	12179	6221
E Bosque de encino	50	68420	8837	46844	9625

Resultados de la evaluación de la precisión para el mapa de 1993

La precisión general es de 67%. El bosque de encino es la cobertura que presenta la mayor precisión del usuario, mientras que el matorral es el que tuvo una menor precisión (35%). De acuerdo con la estimación de áreas a partir de la matriz de errores (Figura 17; Tabla 19), la vegetación secundaria de bosque de encino se subestimó mientras que el matorral se sobreestimó. Esto es indicador de la dificultad para interpretar este tipo de coberturas con una resolución de 30 m.

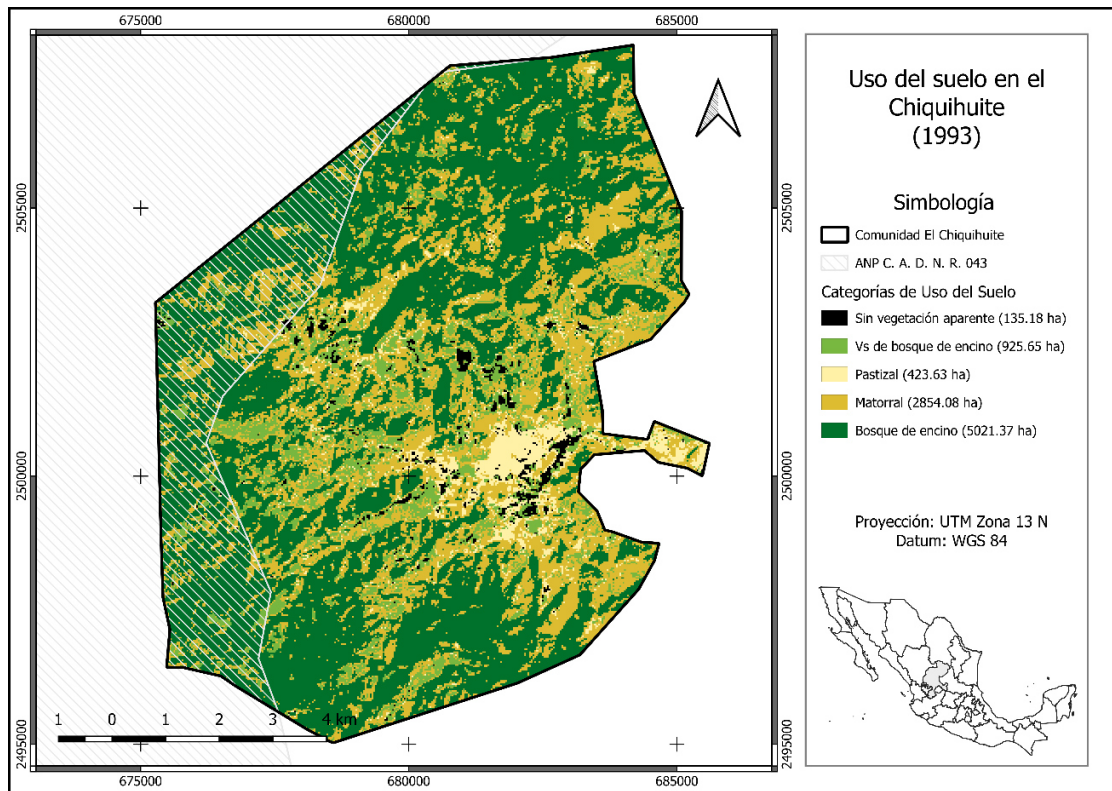


Figura 7. Uso de suelo en 1993 de la Comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia en QGIS 3.3).

Tabla 8. Matriz de error de la clasificación del mapa de 1993.

		Datos de referencia					
Datos clasificados		A	B	C	D	E	Total filas
	A	9	0	7	4	0	20
	B	1	16	0	3	0	20
	C	0	2	15	3	0	20
	D	0	9	0	7	4	20
	E	0	2	0	0	23	25
	Total columnas	10	29	22	17	27	105

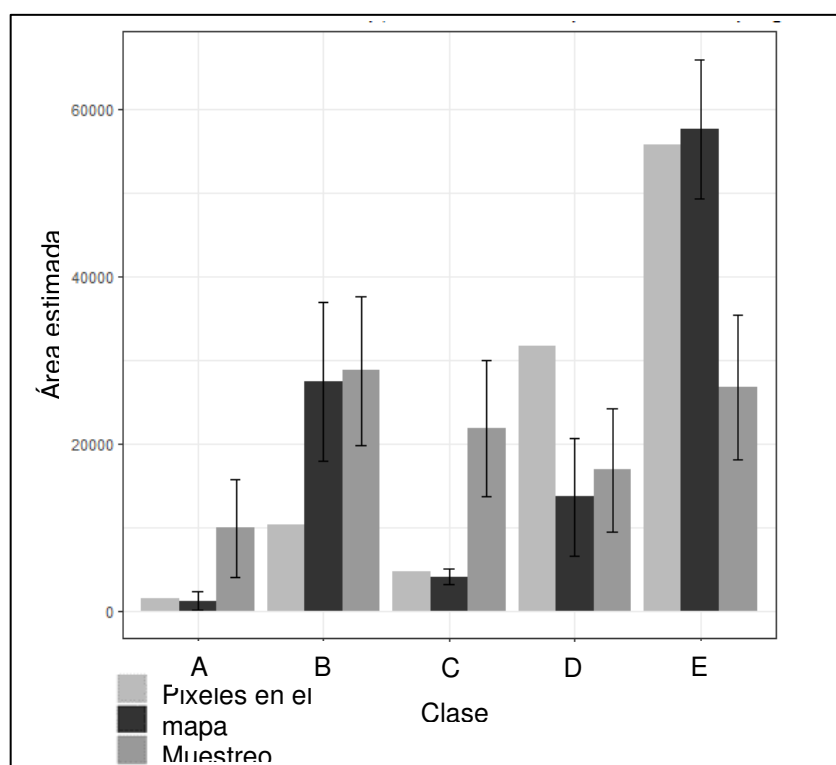


Figura 8. Estimación de áreas a partir de la clasificación mediante diseños de muestreo aleatorio simple y estratificado (1993) (Intervalo de confianza del 95%).

Tabla 9. Precisión de la clasificación del mapa de 1993.

Categoría	Precisión del productor	Precisión del productor ponderada	Precisión del usuario	Píxeles totales	Área (ha)	Relativo
A Sin vegetación aparente	0.90	0.57	0.45	1502	135.18	1%
B Vegetación secundaria de bosque de encino	0.55	0.30	0.80	10285	925.65	10%
C Pastizal	0.68	0.87	0.75	4707	423.63	5%
D Matorral	0.41	0.81	0.35	31712	2854.08	30%
E Bosque de encino	0.85	0.89	0.92	55793	5021.37	54%

Tabla 10. Error estándar e intervalos de confianza de los muestreos aleatorios para el mapa de 1993 en píxeles (Intervalo de confianza del 95%).

		Muestreo aleatorio estratificado		Muestreo aleatorio simple	
Categoría	Número de muestras	Estimación del área	Intervalo de confianza (95%)	Estimación del área	Área del intervalo de confianza (95%)
A Sin vegetación aparente	10	1190	1062	9905	5839
B Vegetación secundaria de bosque de encino	29	27433	9530	28724	8894
C Pastizal	22	4056	971	21790	8096
D Matorral	17	13648	7045	16838	7328
E Bosque de encino	27	57672	8319	26743	8694

Resultados de la evaluación de la precisión para el mapa de 2000

La precisión general es de 65%. La cobertura con una mejor identificación fue el bosque de encino con una precisión del usuario del 90%, mientras que las coberturas de pastizal y matorral tuvieron una precisión del 50%. De acuerdo con la estimación de áreas a partir de la matriz de errores, el pastizal se encuentra ligeramente sobreestimado (Figura 19; Tabla 22).

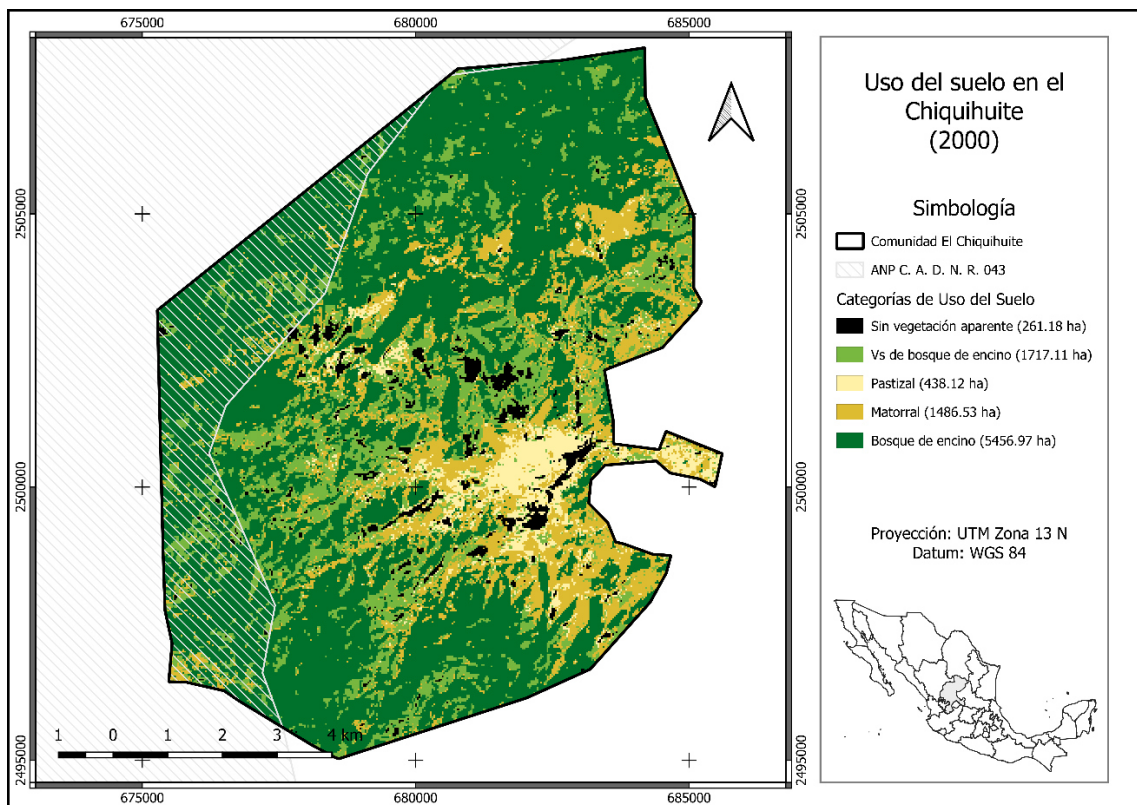


Figura 9. Uso de suelo en 2000 de la Comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia en QGIS 3.3).

Tabla 11. Matriz de error de la clasificación del mapa del año 2000.

		Datos de referencia					
Datos clasificados		A	B	C	D	E	Total filas
	A	12	5	1	2	0	20
	B	3	10	0	6	1	20
	C	0	2	10	8	0	20
	D	0	4	0	15	1	20
	E	0	2	0	0	18	20
	Total columnas	15	23	11	31	20	100

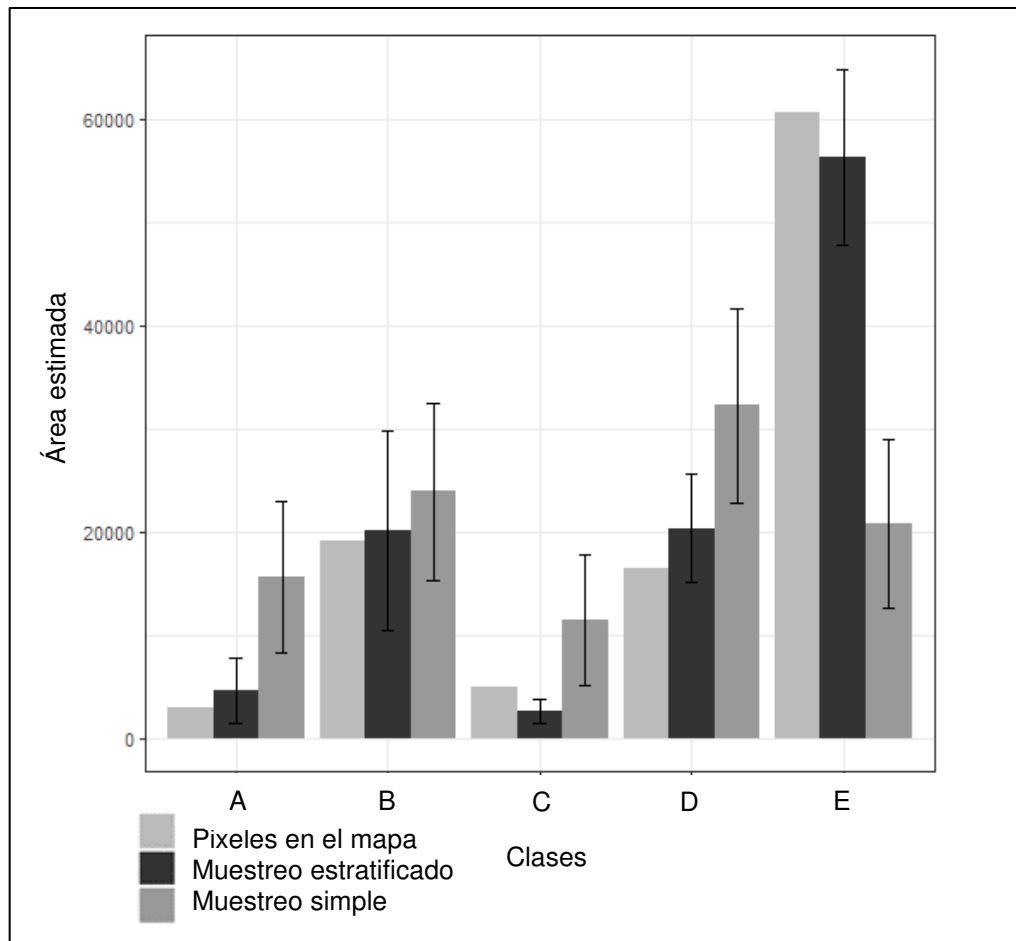


Figura 10. Estimación de áreas a partir de la clasificación mediante diseños de muestreo aleatorio simple y estratificado (2000) (Intervalo de confianza del 95%).

Tabla 12. Precisión de la clasificación del mapa de 2000.

Categoría	Precisión del productor	Precisión del productor ponderada	Precisión del usuario	Píxeles totales	Área (ha)	Relativo
A Sin vegetación aparente	0.80	0.38	0.60	2902	261.18	3%
B Vegetación secundaria de bosque de encino	0.43	0.47	0.50	19079	1717.11	18%
C Pastizal	0.91	0.94	0.50	4868	438.12	5%
D Matorral	0.48	0.61	0.75	16517	1486.53	16%
E Bosque de encino	0.90	0.97	0.90	60633	5456.97	58%

Tabla 13. Error estándar e intervalos de confianza de los muestreos aleatorios para el mapa de 2000 en píxeles (Intervalo de confianza del 95%).

Categoría	Número de muestras	Muestreo aleatorio estratificado		Muestreo aleatorio simple	
		Estimación del área	Intervalo de confianza (95%)	Estimación del área	Área del intervalo de confianza (95%)
A Sin vegetación aparente	15	4603	3129	15600	7278
B Vegetación secundaria de bosque de encino	23	20119	9740	23920	8578
C Pastizal	11	2579	1131	11440	6378
D Matorral	31	20349	5206	32240	9427
E Bosque de encino	20	56350	8545	20800	8154

Resultados de la evaluación de la precisión para el mapa de 2005

La precisión general es de 79%. La cobertura con una mayor precisión fue la de bosque de encino mientras que las que tuvieron una menor precisión son el matorral, seguido de la vegetación secundaria de bosque de encino y el pastizal. El matorral presenta una ligera sobreestimación de acuerdo con la estimación de áreas a partir de la matriz de errores (Figura 21; Tabla 25).

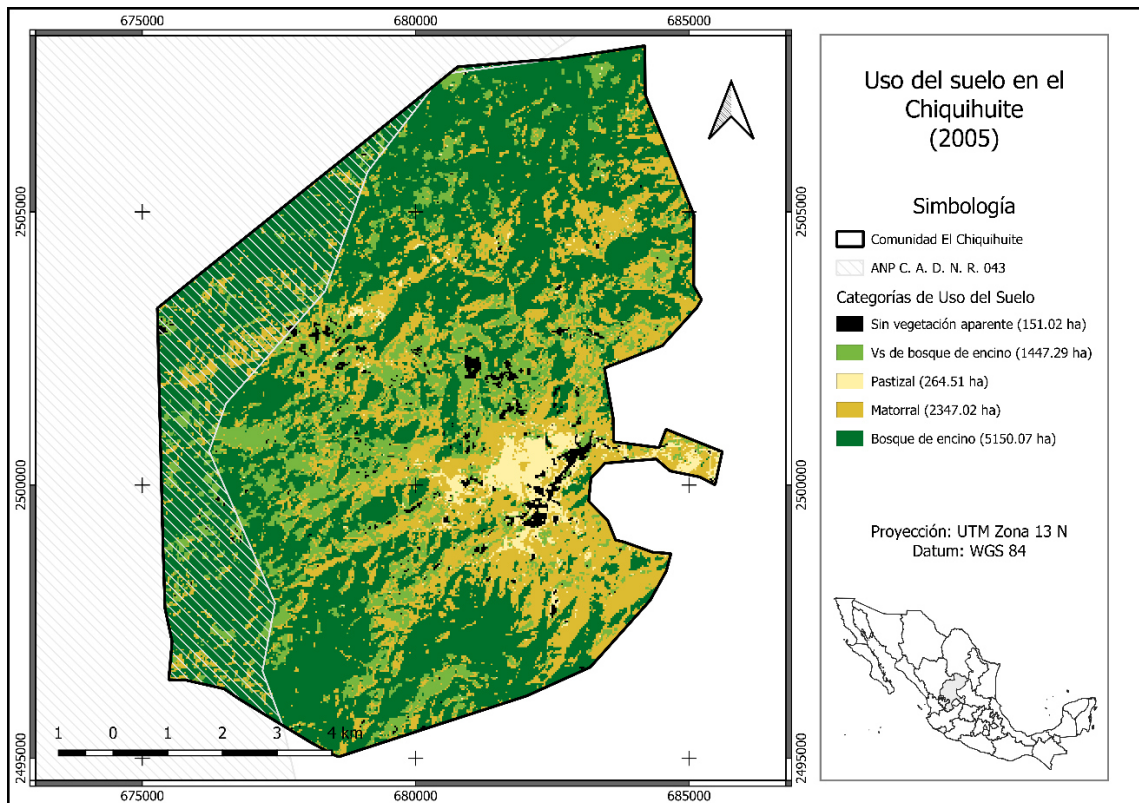


Figura 11. Uso de suelo en 2005 de la Comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia en QGIS 3.3).

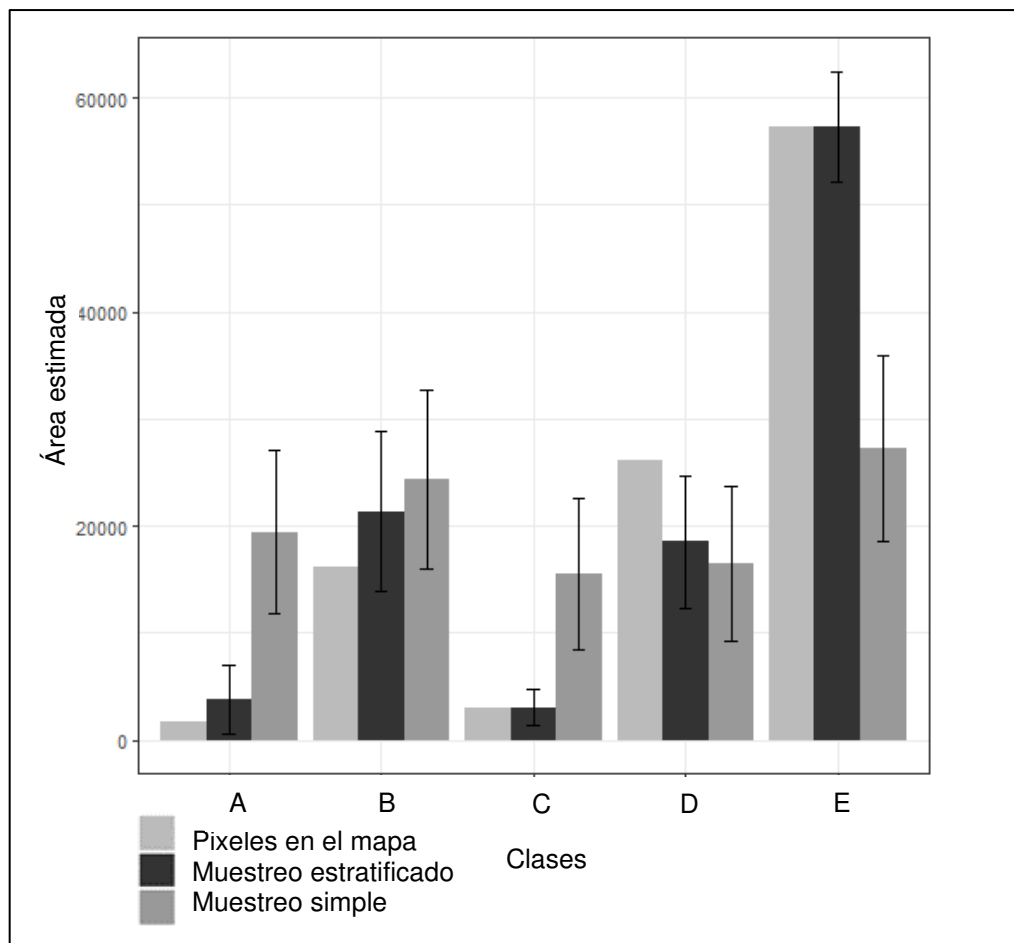


Figura 12. Estimación de áreas a partir de la clasificación mediante diseños de muestreo aleatorio simple y estratificado (2005) (Intervalo de confianza del 95%).

Tabla 14. Matriz de error de la clasificación del mapa del año 2005.

		Datos de referencia					
		A	B	C	D	E	Total filas
Datos clasificados	A	16	4	0	0	0	20
	B	1	15	1	2	1	20
	C	2	0	15	3	0	20
	D	1	5	0	12	1	19
	E	0	1	0	0	26	27
Total columnas		20	25	16	17	28	106

Tabla 15. Precisión de la clasificación del mapa de 2005.

Categoría	Precisión del productor	Precisión del productor ponderada	Precisión del usuario	Píxeles totales	Área (ha)	Relativo
A Sin vegetación aparente	0.80	0.35	0.80	1678	151.02	2%
B Vegetación secundaria de bosque de encino	0.60	0.56	0.75	16081	1447.29	15%
C Pastizal	0.94	0.73	0.75	2939	264.51	3%
D Matorral	0.71	0.89	0.63	26078	2347.02	25%
E Bosque de encino	0.93	0.96	0.96	57223	5150.07	55%

Tabla 16. Error estándar e intervalos de confianza de los muestreos aleatorios para el mapa de 2005 en píxeles (Intervalo de confianza del 95%).

		Muestreo aleatorio estratificado		Muestreo aleatorio simple	
Categoría	Número de muestras	Estimación del área	Intervalo de confianza (95%)	Estimación del área	Área del intervalo de confianza (95%)
A Sin vegetación aparente	20	3813	3157	19439	7682
B Vegetación secundaria de bosque de encino	25	21378	7436	24299	8338
C Pastizal	16	3008	1677	15551	7027
D Matorral	17	18519	6221	16523	7204
E Bosque de encino	28	57280	5194	27215	8662

Resultados de la evaluación de la precisión para el mapa de 2010

La precisión general es de 66%. El bosque de encino tuvo la mejor precisión del usuario, mientras que el matorral y la vegetación secundaria del bosque de encino son las coberturas con menor precisión del usuario. El matorral de igual manera presenta únicamente un 30% de precisión del productor. Esto se refleja en la limitada asignación correcta de las clases de referencia a las clases clasificadas debido a la dificultad para diferenciar distintos tipos de vegetación en áreas de transición. De acuerdo con la estimación de áreas a partir de la matriz de errores, el matorral se encuentra ampliamente sobreestimado mientras que el bosque de encino se encuentra subestimado en esta clasificación (Figura 23; Tabla 18).

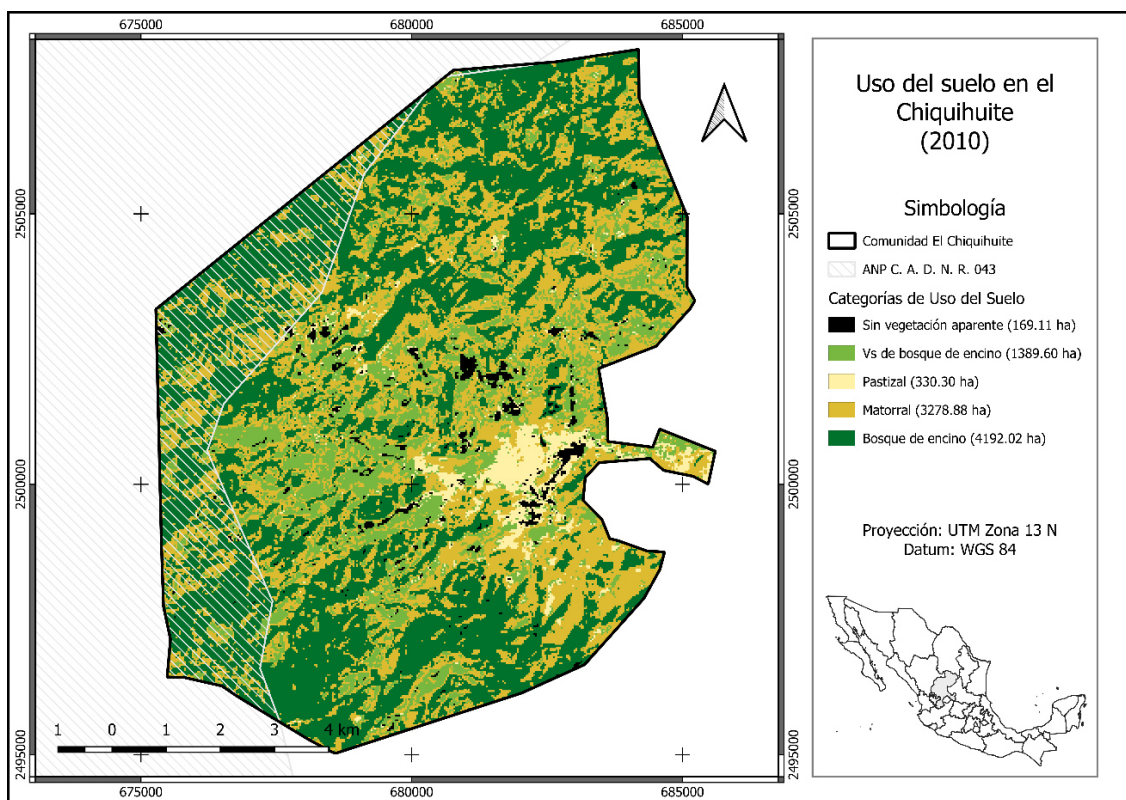


Figura 13. Uso de suelo en 2010 de la Comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia en QGIS 3.3).

Tabla 17. Matriz de error de la clasificación del mapa del año 2010.

		Datos de referencia					
Datos clasificados		A	B	C	D	E	Total filas
	A	12	1	3	3	1	20
	B	1	12	0	5	2	20
	C	2	0	16	2	0	20
	D	2	7	0	5	5	19
	E	0	0	0	0	22	22
	Total columnas	17	20	19	15	30	101

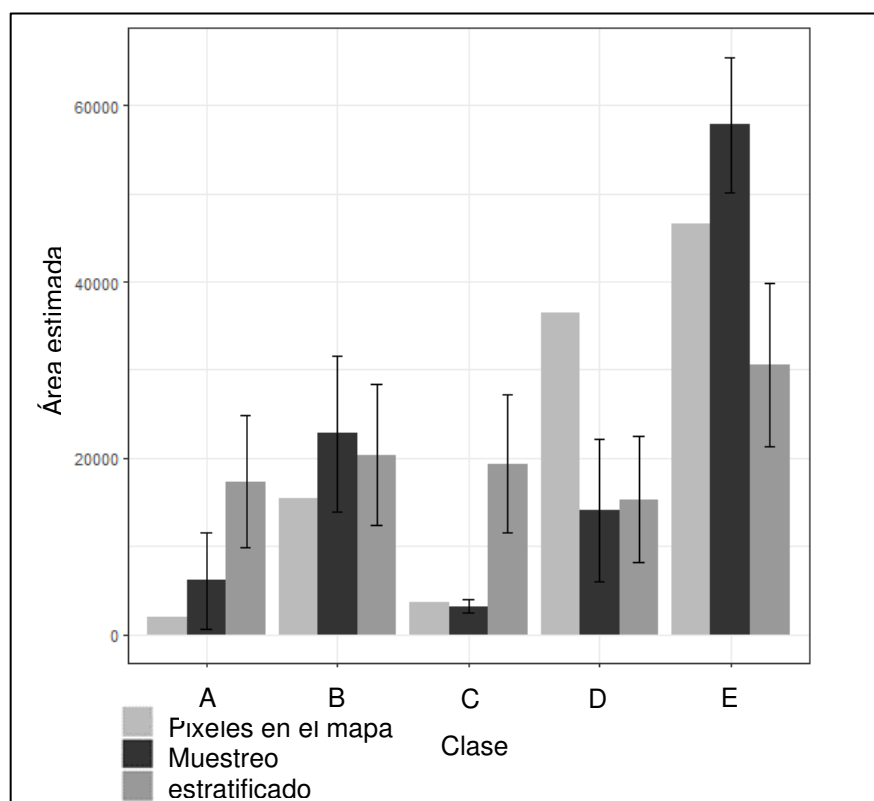


Figura 14. Estimación de áreas a partir de la clasificación mediante diseños de muestreo aleatorio simple y estratificado (2010) (Intervalo de confianza del 95%).

Tabla 18. Precisión de la clasificación del mapa de 2010.

Categoría	Precisión del productor	Precisión del productor ponderada	Precisión del usuario	Píxeles totales	Área (ha)	Relativo
A Sin vegetación aparente	0.71	0.18	0.60	1879	169.11	2%
B Vegetación secundaria de bosque de encino	0.60	0.41	0.60	15440	1389.60	15%
C Pastizal	0.84	0.91	0.80	3670	330.30	4%
D Matorral	0.33	0.68	0.26	36432	3278.88	35%
E Bosque de encino	0.73	0.81	1.00	46578	4192.02	45%

Tabla 19. Error estándar e intervalos de confianza de los muestreos aleatorios para el mapa de 2010 en píxeles (Intervalo de confianza del 95%).

Categoría	Número de muestras	Muestreo aleatorio estratificado		Muestreo aleatorio simple	
		Estimación del área	Intervalo de confianza (95%)	Estimación del área	Área del intervalo de confianza (95%)
A Sin vegetación aparente	17	6101	5421	17333	7522
B Vegetación secundaria de bosque de encino	20	22780	8804	20392	8013
C Pastizal	19	3218	726	19372	7858
D Matorral	15	14096	8019	15294	7148
E Bosque de encino	30	57803	7701	30588	9196

Resultados de la evaluación de la precisión para el mapa de 2017

La precisión general es de 64%. Al igual que en las anteriores clasificaciones, la cobertura con una mayor precisión tanto del productor como del usuario es el bosque de encino, mientras que el matorral y la vegetación secundaria de bosque de encino son las coberturas con menor precisión. Como se ha indicado anteriormente, esto puede ser debido a la dificultad para diferenciar áreas de transición debido a la resolución espacial y por la similitud entre las firmas espectrales entre las diferentes clases. De acuerdo con la estimación de áreas a partir de la matriz de errores, el matorral se encuentra sobreestimado (Figura 25; Tabla 31).

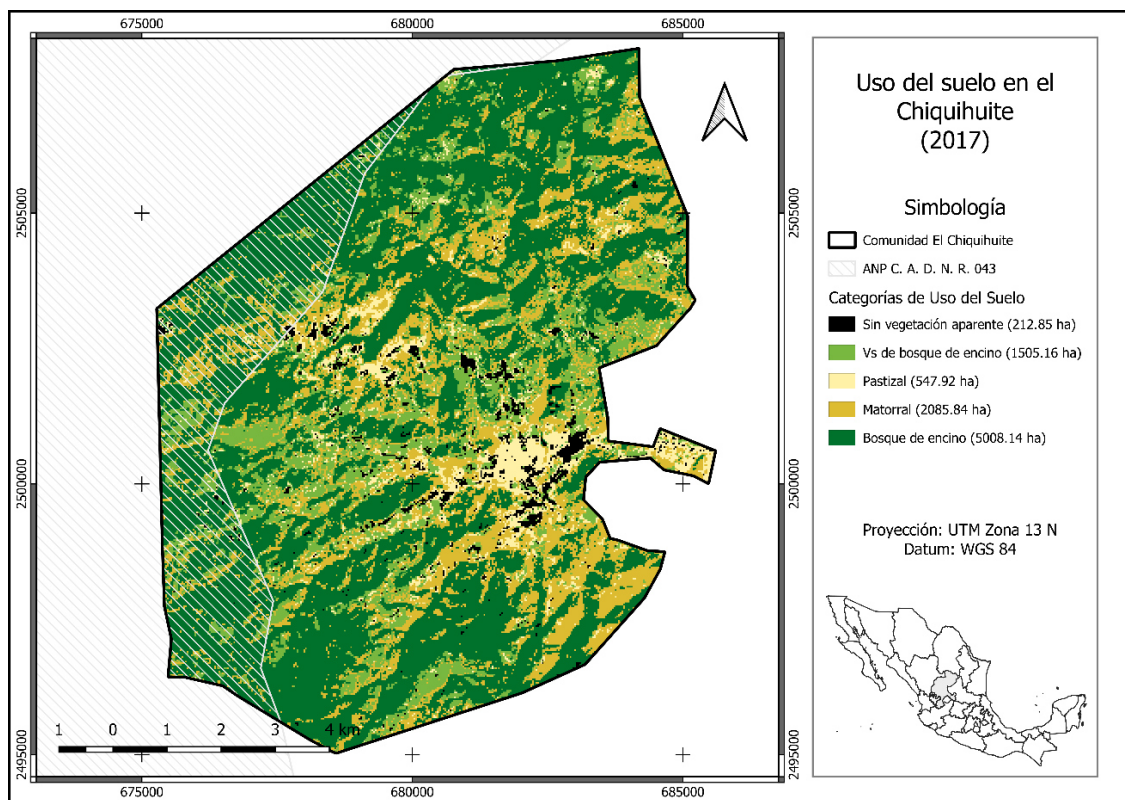


Figura 15. Uso de suelo en 2017 de la Comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia en QGIS 3.3).

Tabla 20. Matriz de error de la clasificación del mapa de 2017.

		Datos de referencia					
Datos clasificados		A	B	C	D	E	Total filas
	A	14	2	2	2	0	20
	B	1	12	0	5	2	20
	C	0	4	11	3	2	20
	D	0	7	1	9	3	20
	E	0	3	0	1	23	27
	Total columnas	15	28	14	20	30	107

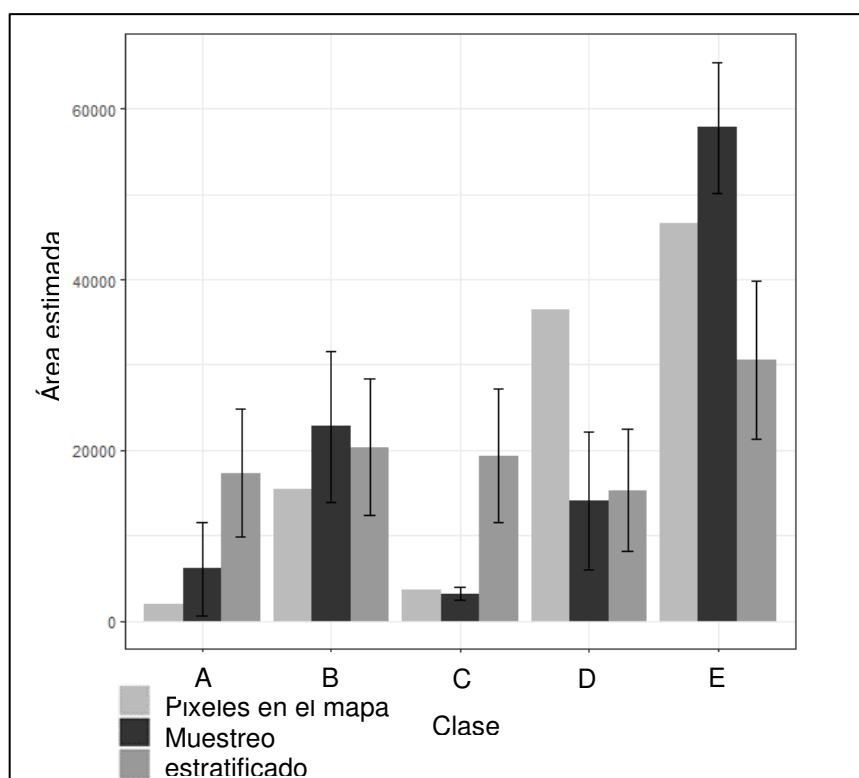


Figura 16. Estimación de áreas del mapa de 2017 a partir de la clasificación mediante diseños de muestreo aleatorio simple y estratificado (Intervalo de confianza del 95%).

Tabla 21. Precisión de la clasificación del mapa de 2017.

Categoría	Precisión del productor	Precisión del productor ponderada	Precisión del usuario	Píxeles totales	Área (ha)	Relativo
A Sin vegetación aparente	0.93	0.66	0.70	2365	212.85	2%
B Vegetación secundaria de bosque de encino	0.43	0.39	0.60	16724	1505.16	16%
C Pastizal	0.79	0.71	0.55	6088	547.92	6%
D Matorral	0.45	0.59	0.45	23176	2085.84	22%
E Bosque de encino	0.77	0.89	0.85	55646	5008.14	54%

Tabla 22. Error estándar e intervalos de confianza de los muestreos aleatorios para el mapa de 2017 (Intervalo de confianza del 95%).

Categoría	Número de muestras	Muestreo aleatorio estratificado		Muestreo aleatorio simple	
		Estimación del área	Intervalo de confianza (95%)	Estimación del área	Área del intervalo de confianza (95%)
A Sin vegetación aparente	15	2492	1710	14579	6841
B Vegetación secundaria de bosque de encino	28	25783	9207	27215	8662
C Pastizal	14	4744	2667	13607	6645
D Matorral	20	17821	7407	19439	7682
E Bosque de encino	30	53160	8795	29159	8851

Resultados de la evaluación de la precisión para el mapa de cambio de uso de suelo 1978-2017

La precisión general es de 28%. Aunque es una precisión muy pobre, la evaluación de esta permite conocer que realmente no ha habido cambios significativos a través del tiempo en el área, o al menos no durante los últimos 39 años. Esto es porque prácticamente todos los puntos de referencia mostraron que no existen cambios en el área de estudio, o no en la cantidad que se tuvo a partir de la clasificación. Esto se debe posiblemente a errores en la clasificación de cada uno de los mapas, ocasionados por la dificultad para discernir entre las distintas coberturas en áreas heterogéneas y de transición.

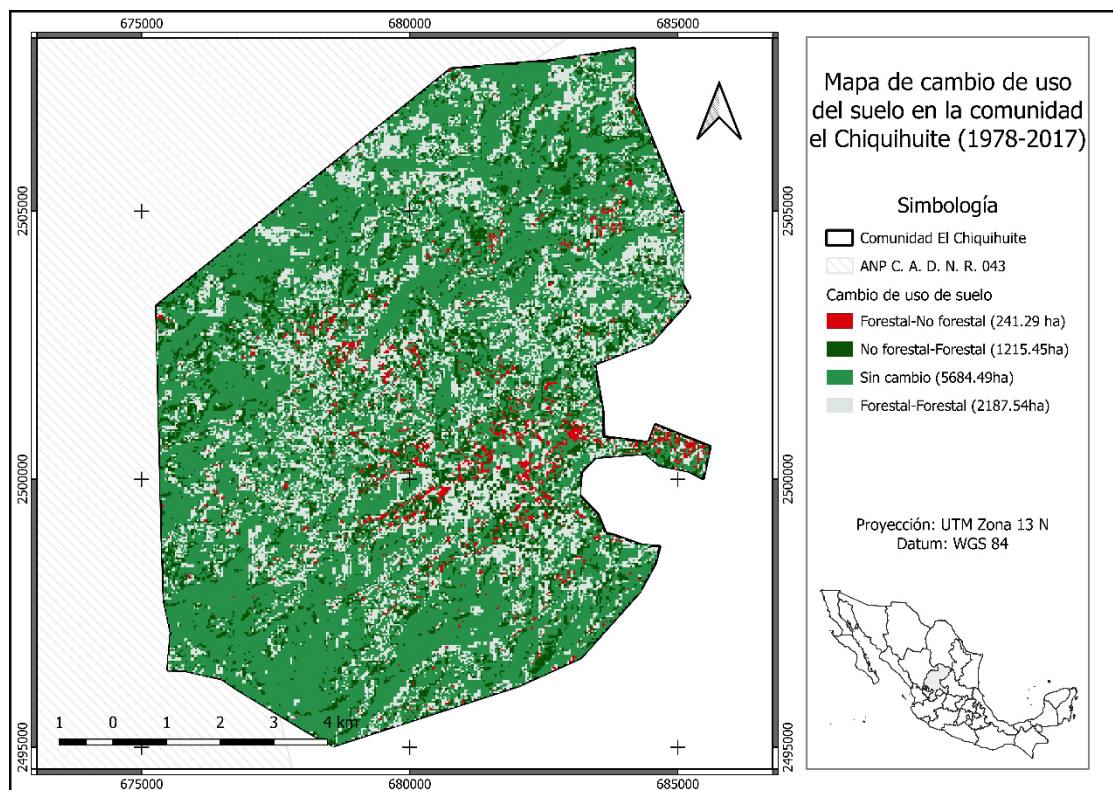


Figura 17. Cambio de uso del suelo en El Chiquihuite de 1978-2017 (Elaboración propia en QGIS 3.3).

Tabla 23. Matriz de error de la clasificación del mapa de cambio de uso de suelo 1978-2017.

	Datos de referencia				
	1	2	3	4	Total filas
	1	2	3	4	Total filas
Datos clasificados	0	1	19	0	20
	0	1	19	0	20
	0	0	20	0	20
	0	0	19	1	20
	0	2	77	1	80

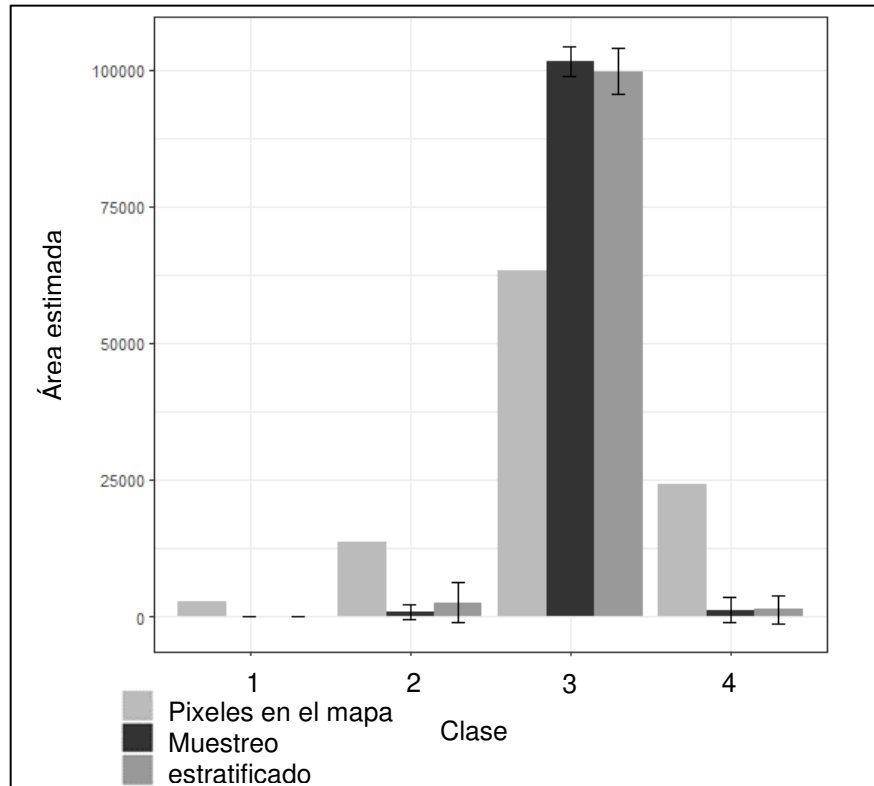


Figura 18. Estimación de áreas del mapa de cambio de uso de suelo a partir de la clasificación mediante diseños de muestreo aleatorio simple y estratificado (Intervalo de confianza del 95%).

Tabla 24. Precisión de la clasificación del mapa de cambio de uso de suelo 1978-2017.

Categoría	Precisión del productor	Precisión del productor ponderada	Precisión del usuario	Píxeles totales	Área (ha)	Relativo
1 Forestal-No forestal	NA	NA	0.00	2681	241.29	3%
2 No forestal-Forestal	0.50	0.83	0.05	13505	1215.45	13%
3 Sin cambios	0.26	0.62	1.00	63161	5684.49	61%
4 Forestal-Forestal	1.00	1.00	0.05	24306	2187.54	23%

Tabla 25. Error estándar e intervalos de confianza de los muestreos aleatorios para el de cambio de uso de suelo 1978-2017 en píxeles (Intervalo de confianza del 95%).

		Muestreo aleatorio estratificado		Muestreo aleatorio simple	
Categoría	Número de muestras	Estimación del área	Intervalo de confianza (95%)	Estimación del área	Área del intervalo de confianza (95%)
1 Forestal-No forestal	0	0	0	0	0
2 No forestal-Forestal	2	809	1349	2591	3546
3 Sin cambios	77	101628	2738	99766	4315
4 Forestal-Forestal	1	1215	2382	1296	2524

Resultados y discusión

El análisis del cambio de uso del suelo en la comunidad entre 1978 y 1993 indica, de acuerdo con la matriz de cambios, una persistencia del bosque de encino de 3955.68 ha, lo que equivale al 42.40% del área de estudio. Las clases que disminuyeron fueron las áreas sin vegetación aparente, la vegetación secundaria del bosque de encino y el pastizal. Mientras que las clases que aumentaron son el matorral y el bosque de encino, este último, en una magnitud que no llega al 1% en un lapso de 15 años (Tabla 35).

Tabla 26. Matriz de cambio de uso de suelo de 1978 a 1993 en la comunidad el Chiquihuite. Los valores en las celdas indican el total de hectáreas que se transforman entre las coberturas distintas. Se incluyen las tasas de cambio expresadas en porcentaje. Las superficies consideradas en el cálculo de las tasas de cambio son las áreas compartidas entre dos bases de datos entre t_1 y t_2 .

		1993							
1978	Coberturas		A	B	C	D	E	Total	Tasa de cambio
	A	ha	63.36	79.11	32.4	51.03	6.66	232.56	-3.57%
		%	0.68	0.85	0.35	0.55	0.07	2.49	
	B	ha	50.67	513.36	164.43	967.95	403.20	2099.61	-5.32%
		%	0.54	5.50	1.76	10.38	4.32	22.51	
	C	ha	17.10	118.98	158.22	224.01	7.92	526.23	-1.46%
		%	0.18	1.28	1.70	2.40	0.08	5.64	
	D	ha	3.24	154.17	62.64	1076.31	633.69	1930.05	2.61%
		%	0.03	1.65	0.67	11.54	6.79	20.69	
	E	ha	0.54	55.71	4.95	523.44	3955.68	4540.32	0.65%
		%	0.01	0.60	0.05	5.61	42.40	48.67	
	Total	ha	134.91	921.33	422.64	2842.74	5007.15	9328.77	
%		1.45	9.88	4.53	30.47	53.67	100		

Mientras tanto, en el periodo de 1993 a 2000, se tiene un aumento en las clases de sin vegetación aparente y vegetación secundaria de bosque de encino, mientras que el matorral disminuye y el bosque de encino queda relativamente estable. El cambio de 927.09 ha de Matorral a Vegetación secundaria de bosque de encino y de 137.34 ha de Vegetación secundaria de bosque de encino a sin vegetación aparente, posiblemente son errores de clasificación (Tabla 36).

Tabla 27. Matriz de cambio de uso de suelo de 1993 a 2000 en la comunidad el Chiquihuite. Los valores en las celdas indican el total de hectáreas que se transforman entre las coberturas distintas. Se incluyen las tasas de cambio expresadas en porcentaje. Las superficies consideradas en el cálculo de las tasas de cambio son las áreas compartidas entre dos bases de datos entre t_1 y t_2 .

		2000						Tasa de cambio
1993	Coberturas	A	B	C	D	E	Total	
	A	ha	96.57	9.9	25.2	2.97	0.54	135.18
		%	1.03	0.11	0.27	0.03	0.01	1.44
	B	ha	137.34	562.86	64.08	119.34	42.03	925.65
		%	1.47	6.01	0.68	1.28	0.45	9.89
	C	ha	16.38	107.37	208.53	89.10	2.25	423.63
		%	0.18	1.15	2.23	0.95	0.02	4.53
	D	ha	9.63	927.09	136.89	1054.26	726.21	2854.08
		%	0.10	9.90	1.46	11.26	7.76	30.49
	E	ha	1.26	109.89	3.42	220.86	4685.94	5021.37
		%	0.01	1.17	0.04	2.36	50.06	53.65
	Total	ha	261.18	1717.11	438.12	1486.53	5456.97	9359.91
		%	2.79	18.35	4.68	15.88	58.30	100

Durante el periodo comprendido entre 2000 y 2005, se observa una disminución en las clases de sin vegetación aparente, pastizal y vegetación secundaria de bosque de encino y un aumento en la clase Matorral. El bosque de encino presenta una ligera disminución. Un cambio notorio es la transformación de 536 ha de vegetación secundaria de bosque de encino a sin vegetación aparente (Tabla 37).

Tabla 28. Matriz de cambio de uso de suelo de 2000 a 2005 en la comunidad el Chiquihuite. Los valores en las celdas indican el total de hectáreas que se transforman entre las coberturas distintas. Se incluyen las tasas de cambio expresadas en porcentaje. Las superficies consideradas en el cálculo de las tasas de cambio son las áreas compartidas entre dos bases de datos entre t_1 y t_2 .

		2005						Tasa de cambio
2000	Coberturas	A	B	C	D	E	Total	
	A	ha	125.64	123.48	7.38	4.59	0.09	261.18
		%	1.34	1.32	0.08	0.05	0.00	2.79
	B	ha	6.03	1026.63	26.64	536.49	121.32	1717.11
		%	0.06	10.97	0.28	5.73	1.30	18.35

C	ha	13.05	71.19	190.80	160.47	2.61	438.12	-9.60%
	%	0.14	0.76	2.04	1.71	0.03	4.68	
D	ha	3.15	133.29	38.07	1151.19	160.83	1486.53	9.56%
	%	0.03	1.42	0.41	12.30	1.72	15.88	
E	ha	3.15	92.70	1.62	494.28	4865.22	5456.97	-1.15%
	%	0.03	0.99	0.02	5.28	51.98	58.30	
Total	ha	151.02	1447.29	264.51	2347.02	5150.07	9359.91	
	%	1.61	15.46	2.83	25.08	55.02	100	

Entre los años de 2005 y 2010 se nota una reducción importante en la clase de bosque de encino, ya que la clasificación muestra un cambio de 1162 ha a Matorral. Es de notar que las clases bien diferenciadas son las que presentan cambios menores de acuerdo con las matrices de cambio, como lo son los cambios de la clase bosque de encino a pastizal o a sin vegetación aparente. La clase de vegetación secundaria de bosque de encino es la más estable durante este periodo, registrando una pérdida menor al 1%. En cuanto al bosque de encino, este mantiene 3952 ha estables (Tabla 38).

Tabla 29. Matriz de cambio de uso de suelo de 2005 a 2010 en la comunidad el Chiquihuite. Los valores en las celdas indican el total de hectáreas que se transforman entre las coberturas distintas. Se incluyen las tasas de cambio expresadas en porcentaje. Las superficies consideradas en el cálculo de las tasas de cambio son las áreas compartidas entre dos bases de datos entre t_1 y t_2 .

		2010							
2005	Coberturas		A	B	C	D	E	Total	Tasa de cambio
	A	ha	102.78	12.87	33.75	0.45	1.17	151.02	2.29%
		%	1.10	0.14	0.36	0.00	0.01	1.61	
	B	ha	49.32	933.57	78.84	384.84	0.72	1447.29	-0.81%
		%	0.53	9.97	0.84	4.11	0.01	15.46	
	C	ha	3.51	40.50	163.53	56.79	0.18	264.51	4.54%
		%	0.04	0.43	1.75	0.61	0.00	2.83	
	D	ha	0.72	380.16	54.18	1674.72	237.24	2347.02	6.92%
		%	0.01	4.06	0.58	17.89	2.53	25.08	
	E	ha	12.78	22.50	0.00	1162.08	3952.71	5150.07	-4.03%
%		0.14	0.24	0.00	12.42	42.23	55.02		
Total	ha	169.11	1389.60	330.30	3278.88	4192.02	9359.91		
	%	1.81	14.85	3.53	35.03	44.79	100		

En años recientes, abarcando el periodo de 2010 a 2017, hay una estabilidad del bosque de encino, en el que no se presentaron cambios en 3924.90 ha. 252.54 ha pasaron a matorral, cambios mínimos a áreas sin vegetación aparente y vegetación secundaria de bosque de encino (2.98 ha y 12.60 ha respectivamente) así como sin cambios hacia pastizal (0 ha). Por otro lado, el matorral vio una disminución, en la que hay un cambio de 620 ha a vegetación secundaria de bosque de encino y de 1046 ha a bosque de encino. Finalmente, la vegetación secundaria de bosque de encino da lugar a 255 ha de pastizal (Tabla 39).

Tabla 30. Matriz de cambio de uso de suelo de 2010 a 2017 en la comunidad el Chiquihuite. Los valores en las celdas indican el total de hectáreas que se transforman entre las coberturas distintas. Se incluyen las tasas de cambio expresadas en porcentaje. Las superficies consideradas en el cálculo de las tasas de cambio son las áreas compartidas entre dos bases de datos entre t_1 y t_2 .

2017									
Coberturas		A	B	C	D	E	Total	Tasa de cambio	
2010	A	ha	114.03	39.6	9.18	0.99	5.31	169.11	3.34%
		%	1.22	0.42	0.10	0.01	0.06	1.81	
	B	ha	34.65	799.11	255.51	270.00	30.33	1389.60	1.15%
		%	0.37	8.54	2.73	2.88	0.32	14.85	
	C	ha	61.83	33.30	185.94	48.42	0.81	330.30	7.50%
		%	0.66	0.36	1.99	0.52	0.01	3.53	
	D	ha	0.36	620.55	97.29	1513.89	1046.79	3278.88	-6.26%
		%	0.00	6.63	1.04	16.17	11.18	35.03	
	E	ha	1.98	12.60	0.00	252.54	3924.90	4192.02	2.57%
		%	0.02	0.13	0.00	2.70	41.93	44.79	
Total	ha	212.85	1505.16	547.92	2085.84	5008.14	9359.91		
	%	2.27	16.08	5.85	22.28	53.51	100		

Por último, los cambios ocurridos en un periodo de 39 años, abarcando de 1978 a 2017 son: cambio de 490 ha de vegetación secundaria de bosque de encino a bosque de encino; 660 ha de matorral a bosque de encino; mientras tanto las clases sin vegetación aparente y pastizal no presentan cambios mayores a 21 ha durante este periodo (Tabla 40; Figura 28).

Tabla 31. Matriz de cambio de uso de suelo de 1978 a 2017 en la comunidad el Chiquihuite. Los valores en las celdas indican el total de hectáreas que se transforman entre las coberturas distintas. Se incluyen las tasas de cambio expresadas en porcentaje. Las superficies consideradas en el cálculo de las tasas de cambio son las áreas compartidas entre dos bases de datos entre t_1 y t_2 .

		2017							
Coberturas		A	B	C	D	E	Total	Tasa de cambio	
1978	A	ha	70.83	66.06	42.93	40.59	12.15	232.56	-0.23%
		%	0.76	0.71	0.46	0.44	0.13	2.49	
	B	ha	79.47	806.67	230.85	492.39	490.23	2099.61	-0.85%
		%	0.85	8.65	2.47	5.28	5.26	22.51	
	C	ha	39.15	133.38	161.55	163.71	28.44	526.23	0.09%
		%	0.42	1.43	1.73	1.75	0.30	5.64	
	D	ha	12.24	313.20	99.99	843.75	660.87	1930.05	0.19%
		%	0.13	3.36	1.07	9.04	7.08	20.69	
	E	ha	10.44	181.26	9.81	537.12	3801.69	4540.32	0.24%
		%	0.11	1.94	0.11	5.76	40.75	48.67	
Total	ha	212.13	1500.57	545.13	2077.56	4993.38	9328.77		
	%	2.27	16.09	5.84	22.27	53.53	100.00		

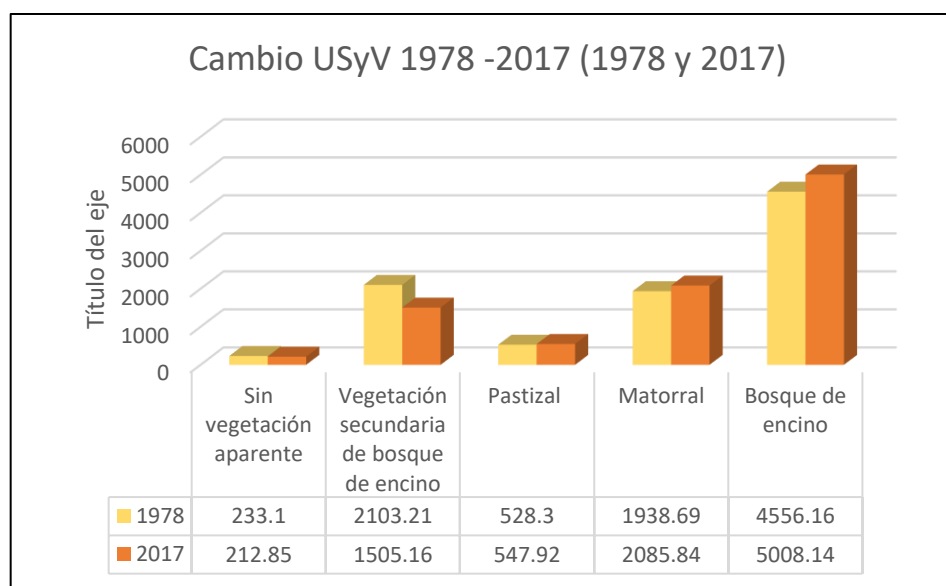


Figura 19. Cambio de uso de suelo por cobertura en El Chiquihuite en el periodo 1978-2017 (elaboración propia).

El análisis de cambio de uso de suelo en la comunidad El Chiquihuite entre los años de 1978 a 2017 muestra resultados variables, las clases con menor superficie de cambio, son las áreas sin vegetación aparente y las áreas de pastizal. Mientras que las clases o coberturas que presenta mayores cambios en superficie son el bosque de encino, el matorral y la vegetación secundaria de bosque de encino.

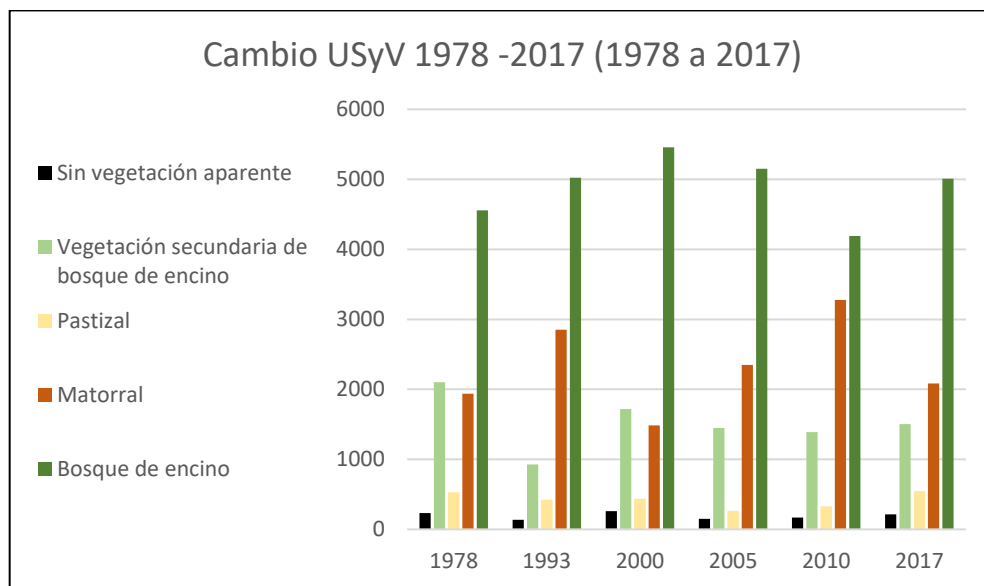


Figura 20. Superficie en hectáreas por cada categoría de cobertura de uso del suelo durante el período de estudio (elaboración propia).

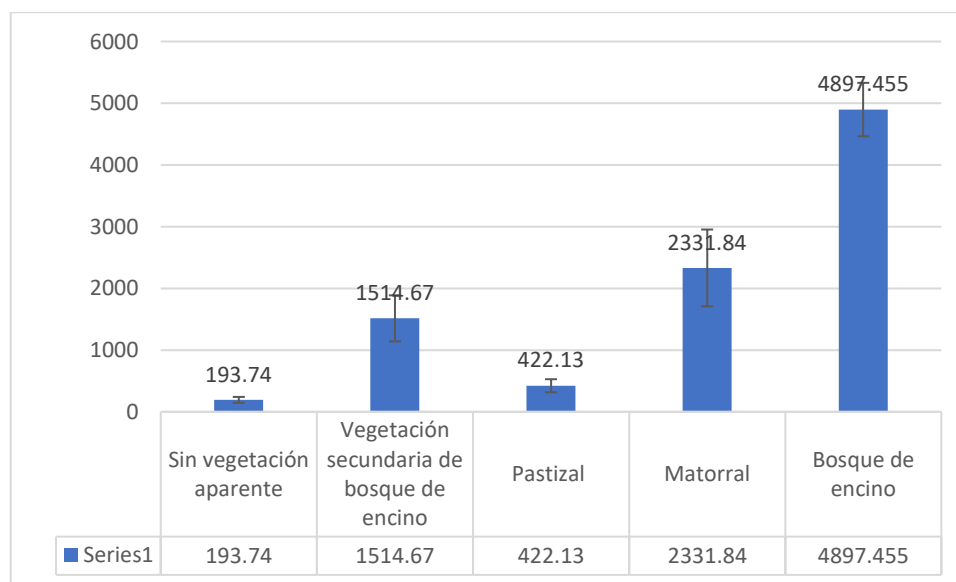


Figura 21. Área ocupada en ha para cada categoría de cobertura de uso del suelo durante el período de estudio (elaboración propia).

En México existen muy pocos estudios relacionados, principalmente de instituciones de gobierno, que evalúan la vegetación dentro de ANP (CONANP, 2009b, 2009a; Sánchez-Reyes et al., 2017), de estos, en ninguno se realiza un análisis de la precisión de las clasificaciones de los mapas de cambio y de igual manera en los más recientes, no se realizan ajustes del área del mapa comparando la matriz de errores, para obtener intervalos de confianza (FAO, 2016).

En los resultados se presentan variaciones entre los diferentes periodos analizados, posiblemente debido a errores en la clasificación. Estos errores se pueden deber a elementos diversos, desde el uso de productos a partir de sensores distintos (Landsat 3, 5, 7, 8) hasta el hecho de que no se sigan adecuadamente los pasos necesarios para el preprocesamiento de las imágenes (Young et al., 2017). A esto se suma la falta de información de referencia de calidad de las áreas de estudio, así como la escala de los productos disponibles, no obstante se trabajó con la única información disponible. La escala de la información de referencia es de gran impacto, ya que se generaliza la información en escalas grandes (Caciano, González, Ramírez, Estrada, & Cerano, 2013). Las cartas de Uso de Suelo y Vegetación en las series I-VI se encuentran a una escala de 1:250 000, mientras que las cartas topográficas y de Uso de Suelo y Vegetación locales se encuentran a escala 1: 50 000 y las ortofotos disponibles a una escala de 1: 20,000. De esta información la más útil fue la relativa a las ortofotos rectificadas, que aunque siendo del año 1997, permitió evaluar de manera visual y acorde con los resultados de la evaluación de la precisión del mapa de cambio, que realmente no existen cambios en la medida de cientos de hectáreas de una cobertura a otra, al menos durante los últimos 20 años.

De igual manera, las imágenes Landsat no presentan una resolución espacial óptimo para realizar estudios locales de acuerdo con este trabajo, aunque Sánchez-Reyes y colaboradores (2017) discuten que estas sí se pueden usar para estudios locales.

En una evaluación visual se puede apreciar que no existen cambios relevantes en la cobertura, tanto en áreas sin vegetación aparente, de pastizal y de bosque de encino. Aunque se aprecia una mayor densidad en el bosque de encino en la imagen reciente de Google Earth. Es posible que esto refleje cambios en la clasificación, debido al estado del bosque en diferentes fechas. De igual manera, habitantes de la comunidad, mencionaron durante las visitas de campo que 20 años atrás ocurrían incendios regulares, cada año (Figura 31).

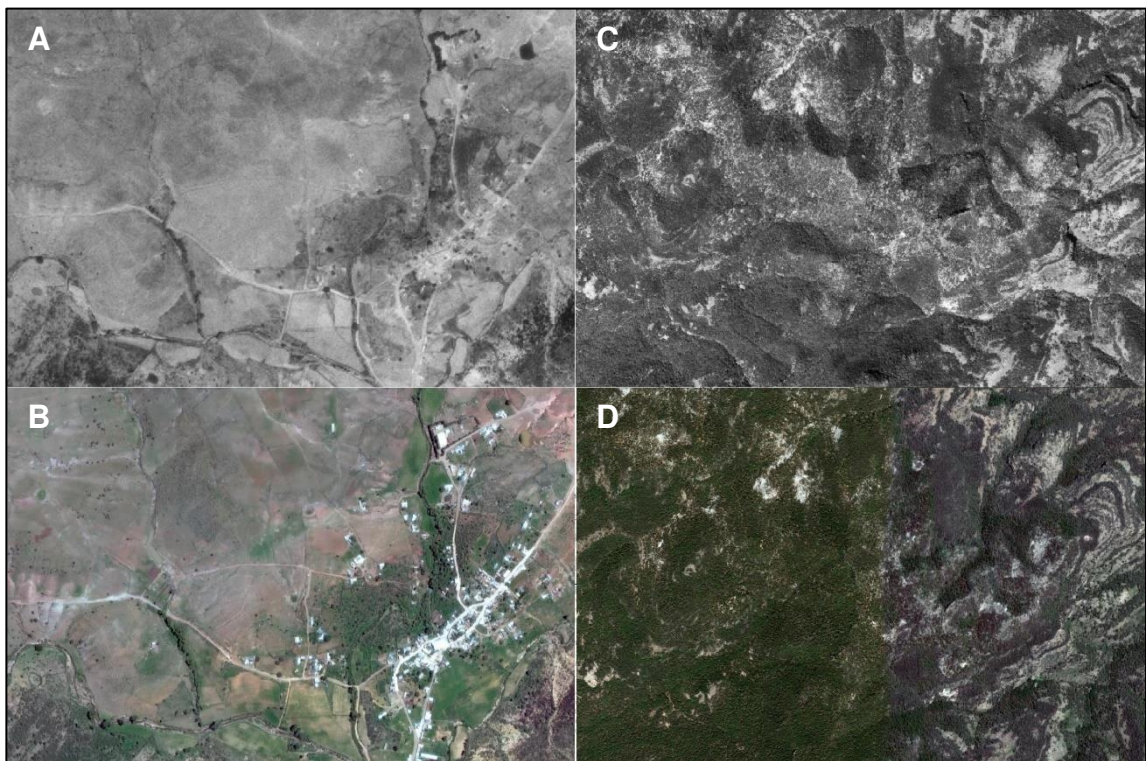


Figura 22. En la figura A) se observa la comunidad El Chiquihuite en 1997 y sus áreas de pastizal; B) El Chiquihuite en 2016 en imagen de Google Earth; C) área de bosque de encino en 1997; D) Área de bosque de encino vista en imagen de Google Earth de 2016. Se aprecia una mayor densidad en la imagen reciente.

Mediante la fotointerpretación entre las imágenes de 1997 y 2016 también se pudieron observar cambios de uso de suelo, aunque estos fueron cambios mínimos (Figura 32).



Figura 23. En la figura A) se observa la comunidad El Chiquihuite en 1997 área de matorral; B) El Chiquihuite en 2016 en imagen de Google Earth donde se percibe el cambio de uso de suelo a área de cultivo.

Con base en estas observaciones, y considerando la evaluación de la precisión del mapa de cambios, no se considera que existan cambios sustanciales en la cobertura forestal en un periodo de 39 en la comunidad del Chiquihuite.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE LA TASA DE TRANSFORMACIÓN DEL HÁBITAT EN LA COMUNIDAD EL CHIQUIHUIE

4.1. Resumen

Se realizó un análisis de la transformación del hábitat haciendo énfasis en el área del ANP dentro de la comunidad y el área restante de la comunidad. Para esto se utilizó la ecuación propuesta por la FAO (1996) para determinar la tasa de deforestación entre dos tiempos.

Esta ecuación se ha usado desde la década de 1990 para evaluar la tasa de cambio del hábitat forestal. En México, distintos autores la han utilizado para evaluar ANP y otras áreas de interés (Trucíos, Estrada, Cerano, & Rivera, 2011).

En el caso concreto de la comunidad el Chiquihuite, se calcularon las tasas de cambio para cada uno de los cambios en las coberturas, estos datos se incluyen de igual manera en las matrices de cambio del capítulo anterior. Así como el cambio general entre área forestal y no forestal entre 1978 y 2017.

Como resultado, se obtuvieron tasas de cambio mínimas, que incluso pueden ser despreciables tomando en cuenta la extensión del área de estudio. Estas tasas de cambio son prácticamente nulas si únicamente se toman en cuenta las áreas forestales y no forestales en lugar de las distintas coberturas. Esto se puede abordar de distintas maneras, teniendo en cuenta que las áreas obtenidas a partir de la clasificación están dadas por una resolución de 30 m. Siendo que el área de estudio es relativamente pequeña, estas áreas a partir de las cuales se calcula la tasa de cambio se deben utilizar con las reservas apropiadas.

4.2. Introducción

Las estrategias de conservación en México dependen en gran medida de las ANP (Figueroa & Sánchez-Cordero, 2008), consideradas como una herramienta efectiva para conservar la biodiversidad y los servicios ambientales que proporciona a la sociedad (Bezaury-Creel & Gutiérrez Carbonell, 2009).

Las características físicas del país suponen limitaciones desde el punto de vista metodológico, debido a la gran extensión y la inaccesibilidad de varias partes de la República, lo que restringe la obtención de datos en campo. Debido a esto, desde hace casi 20 años, en México se han estimado los procesos de cambio del uso del suelo mediante Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota, teniendo énfasis aquellas estimaciones realizadas al interior de ANP y que funcionan como base para evaluar su efectividad al cuantificar la magnitud y dirección de estos cambios (CONANP, 2009b, 2009a; Figueroa & Sánchez-Cordero, 2008; Sánchez-Reyes et al., 2017; Trucíos et al., 2011). Aunque los resultados de estos análisis tienen un gran potencial para identificar los principales focos de cambio y sus procesos asociados (e. g. deforestación, fragmentación), también pueden medir las implicaciones sociales y sus repercusiones económicas, así como apoyar en el diseño y complementación de instrumentos de planeación como lo es el ordenamiento ecológico (Velázquez, Mas, Gallegos-Díaz, et al., 2002). A partir del año 2000, la CONANP consideró indispensable conocer la dinámica de cambio en la cobertura de hábitat natural en las ANP federales a partir del análisis de imágenes de satélite de diferentes épocas. (CONANP, 2009a), proponiendo una metodología plasmada en el Protocolo para la Evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en ANP Federales de México (CONANP, 2007).

4.3. Material y Métodos

La CONANP ha abordado el tema de cambio de uso del suelo en diferentes etapas. Hasta 2009, se estableció un método utilizando imágenes de satélite para evaluar estos cambios. En un primer momento mediante la utilización de información proveniente del programa Landsat 7 y posteriormente utilizando información del sensor SPOT, gracias a la disponibilidad de imágenes distribuidas por la Estación de Recepción México de la constelación SPOT (ERMEXS). A partir de estos datos y una vez preprocesadas las imágenes, se realiza una clasificación supervisada, obteniendo un mapa de uso del suelo y vegetación (CONANP, 2009a).

Las clases o coberturas de usos de suelo obtenidas a través de la clasificación son utilizadas para generar capas históricas a partir de imágenes de distintas fechas. Con estos datos se obtiene información de la dinámica de cambio, de la cual se construye una matriz de transición, la cual presenta un valor de cada categoría que ha sido modificada (más dinámicas), y una indicación de aquellas clases que no han sufrido cambios (más estables). Los tipos de Uso del Suelo y Vegetación presentes se categorizan en Forestal y No Forestal, y se calcula la tasa de transformación del hábitat de acuerdo a la ecuación utilizada por la FAO (CONANP, 2009a; FAO, 1996).

$$\delta_n = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1$$

Donde:

δ_n = tasa de cambio.

S_1 = Superficie forestal al inicio del periodo.

S_2 = Superficie forestal al final del periodo.

n = número de años entre las dos fechas.

De acuerdo con la información generada a partir de la clasificación supervisada de imágenes Landsat de distintos años, se evalúa la tasa de cambio de transformación del hábitat en un periodo de 39 años tomando como unidades separadas el área que corresponde al ANP dentro de la comunidad El Chiquihuite y el área restante de la comunidad sin considerar la porción de ANP. En la Tabla 41 se presenta la matriz de cambio de uso de suelo, con los respectivos cambios en hectáreas entre las dos fechas por cada cobertura, en superficie, en porcentaje y, de igual manera se muestra la tasa de transformación para cada una de estas coberturas en la porción del ANP ubicada dentro de la comunidad.

4.4. Resultados y discusión

La superficie de bosque de encino pasó de 1230 en 1978 a 1206 ha en 2018, indicando una tasa de cambio de 0.04%; la superficie de matorral pasó de 221 a 236 ha, a un ritmo de 0.16% anual; el pastizal es la cobertura con mayor cambio en este periodo de tiempo, incrementándose de 6 a 20 ha o 3.08% anual; en cuanto a las áreas sin vegetación aparente y vegetación secundaria de bosque de encino, estas presentan una leve disminución de 10.7 a 9 ha y 198 a 195 ha respectivamente, prácticamente imperceptible dada la extensión del terreno; las tasas de cambio contrastan con las reportadas a nivel nacional para el periodo de 1976-2011, siendo menor la deforestación en bosque y matorral y mostrando recuperación del pastizal (Tabla 41, Figuras 30,31,32) (SEMARNAT, 2015) y siendo también menor a la reportada dentro de otras ANP en México (Trucíos et al., 2011)

Estos cambios son cuantificados en un área de 1667.29 ha, correspondientes al 18% del total de la comunidad el Chiquihuite. Estos cambios son relativamente pequeños tomando en cuenta la superficie estudiada y de igual manera caen entre los rangos dados por un intervalo de confianza del 95% utilizando un muestreo aleatorio estratificado para determinar la exactitud de la clasificación

de los mapas generados de 1978 y 2017. No obstante, como es discutido anteriormente, estos datos se deben de tomar con cautela.

Tabla 32. Matriz de cambio de uso de suelo de 1978 a 2017 en la porción del ANP dentro de la comunidad El Chiquihuite (1667.29 ha). Los valores en las celdas indican el total de hectáreas que se transforman entre las coberturas distintas. Se incluyen las tasas de cambio expresadas en porcentaje. Las superficies consideradas en el cálculo de las tasas de cambio son las áreas compartidas entre dos bases de datos entre t_1 y t_2 .

		2017							
Coberturas		A	B	C	D	E	Total	Tasa de cambio	
1978	A	ha	4.68	1.71	1.98	0.27	2.07	10.71	-0.42%
		%	0.28	0.10	0.12	0.02	0.12	0.64	
	B	ha	2.16	80.47	9.99	29.70	75.61	197.92	-0.04%
		%	0.13	4.83	0.60	1.78	4.53	11.87	
	C	ha	0.81	1.98	1.71	0.63	1.08	6.21	3.08%
		%	0.05	0.12	0.10	0.04	0.06	0.37	
	D	ha	0.54	51.12	4.86	68.77	96.67	221.96	0.16%
		%	0.03	3.07	0.29	4.12	5.80	13.31	
	E	ha	0.90	59.67	1.62	136.90	1031.39	1230.48	-0.04%
		%	0.05	3.58	0.10	8.21	61.86	73.80	
Total		ha	9.09	194.95	20.16	236.27	1206.81	1667.29	
		%	0.55	11.69	1.21	14.17	72.38	100.00	

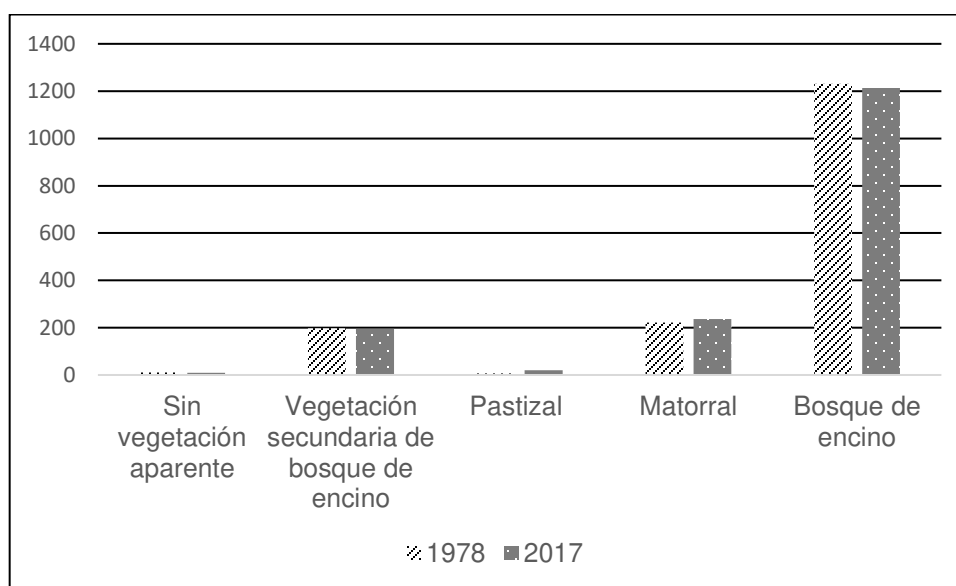


Figura 24. Cambio de uso de suelo de 1978 a 2017 dentro de la porción del ANP dentro de la comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia).

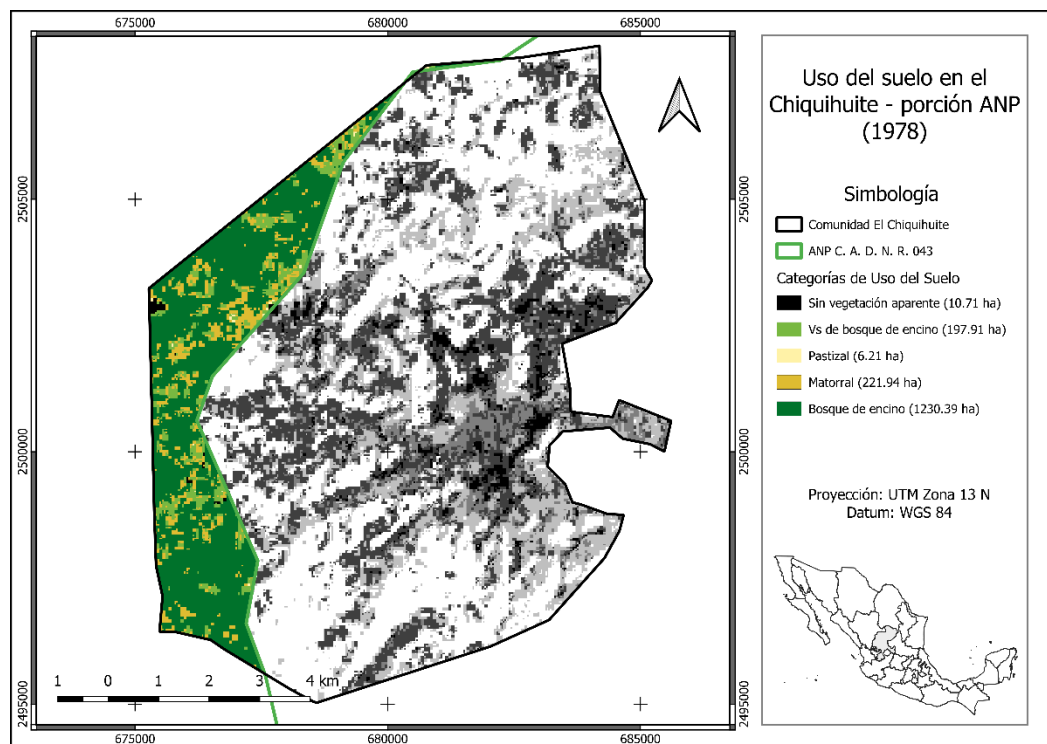


Figura 25. Uso del suelo en El Chiquihuite en la porción del ANP en 1978 (1667.29 ha)
(Elaboración propia en QGIS 3.3).

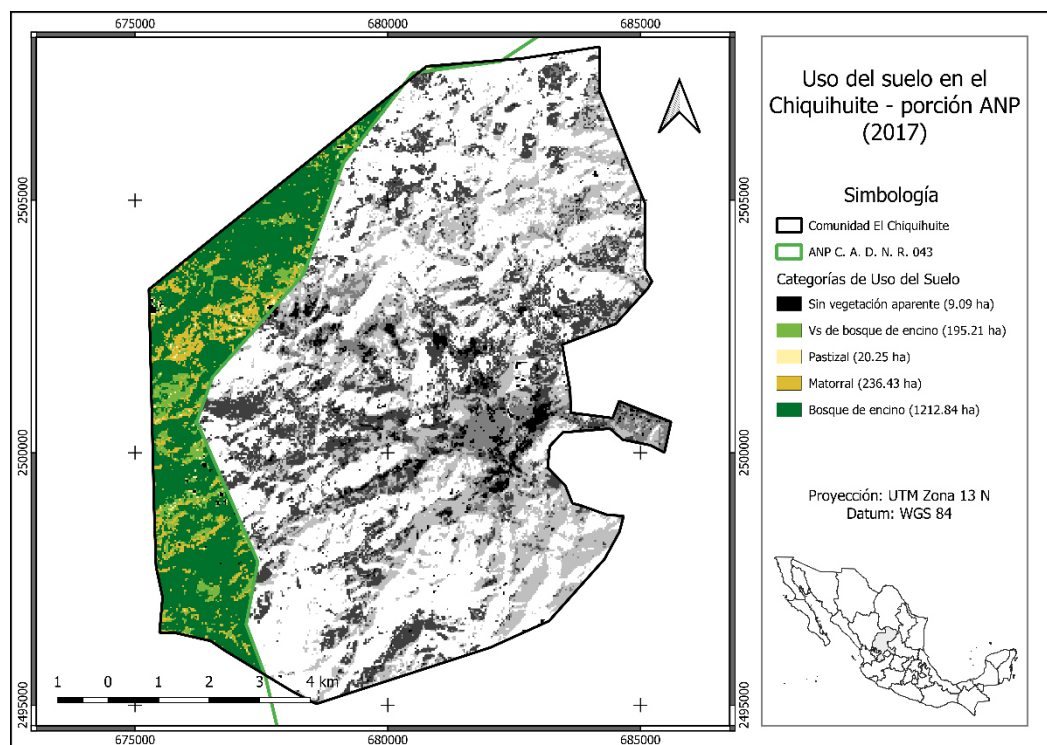


Figura 26. Uso del suelo en El Chiquihuite en la porción del ANP en 2017 (1667.29 ha)
(Elaboración propia en QGIS 3.3).

En cuanto a los cambios en el área de la comunidad sin considerar el ANP, el cual abarca un área de 7651 ha, hubo un aumento en el área de bosque de encino, pasando de 3305 en 1978 a 3781 ha en 2017 con una tasa de cambio de 0.35%. En cuanto a matorral, aumentó de 1705 a 1838 ha, con una tasa de 0.20% anual, las áreas de pastizal pasaron de 519 a 425 ha a un ritmo de 0.04% y hubo una disminución de vegetación secundaria de bosque de encino y de áreas sin vegetación aparente, pasando de 1899 a 1303 ha y de 221 a 202 ha respectivamente, con una tasa de 0.95% y 0.22% respectivos (Tabla 42).

Tabla 33. Matriz de cambio de uso de suelo de 1978 a 2017 en la comunidad El Chiquihuite sin considerar el área del ANP (7651.31 ha). Los valores en las celdas indican el total de hectáreas que se transforman entre las coberturas distintas. Se incluyen las tasas de cambio expresadas en porcentaje. Las superficies consideradas en el cálculo de las tasas de cambio son las áreas compartidas entre dos bases de datos entre t_1 y t_2 .

		2017							
Coberturas		A	B	C	D	E	Total	Tasa de cambio	
1978	A	ha	66.06	64.26	40.89	40.27	10.07	221.55	-0.22%
		%	0.86	0.84	0.53	0.53	0.13	2.90	
	B	ha	77.21	725.23	220.56	462.07	414.07	1899.14	-0.95%
		%	1.01	9.48	2.88	6.04	5.41	24.82	
	C	ha	38.29	131.22	159.63	162.86	27.32	519.32	0.04%
		%	0.50	1.72	2.09	2.13	0.36	6.79	
	D	ha	11.68	261.73	95.00	773.95	563.45	1705.81	0.20%
		%	0.15	3.42	1.24	10.12	7.36	22.29	
	E	ha	9.53	121.43	8.18	399.69	2766.66	3305.48	0.35%
		%	0.12	1.59	0.11	5.22	36.16	43.20	
Total	ha	202.77	1303.87	524.26	1838.83	3781.57	7651.31		
	%	2.65	17.04	6.85	24.03	49.42	100.00		

Estos cambios, como se aprecian en la Figura 33, son más notables que los cambios acontecidos dentro de la porción del ANP dentro de la comunidad. Y se puede resaltar el cambio entre Vegetación Secundaria de bosque de encino, Matorral y Bosque de encino, las clases que presentan mayores diferencias, al igual que lo reportado en otros trabajos (Sánchez-Reyes et al., 2017)

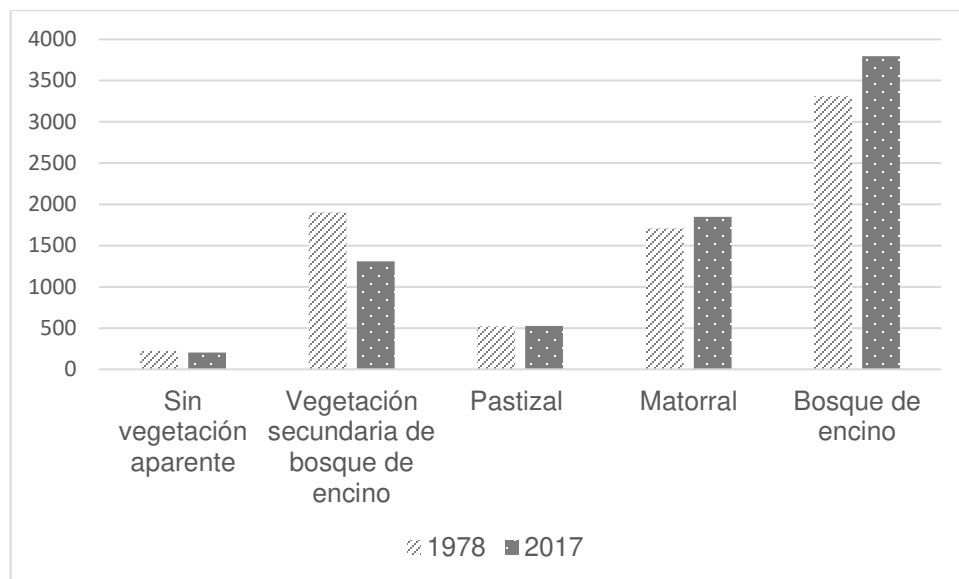


Figura 27. Cambio de uso de suelo de 1978 a 2017 dentro de la comunidad El Chiquihuite sin considerar la porción de ANP (Elaboración propia).

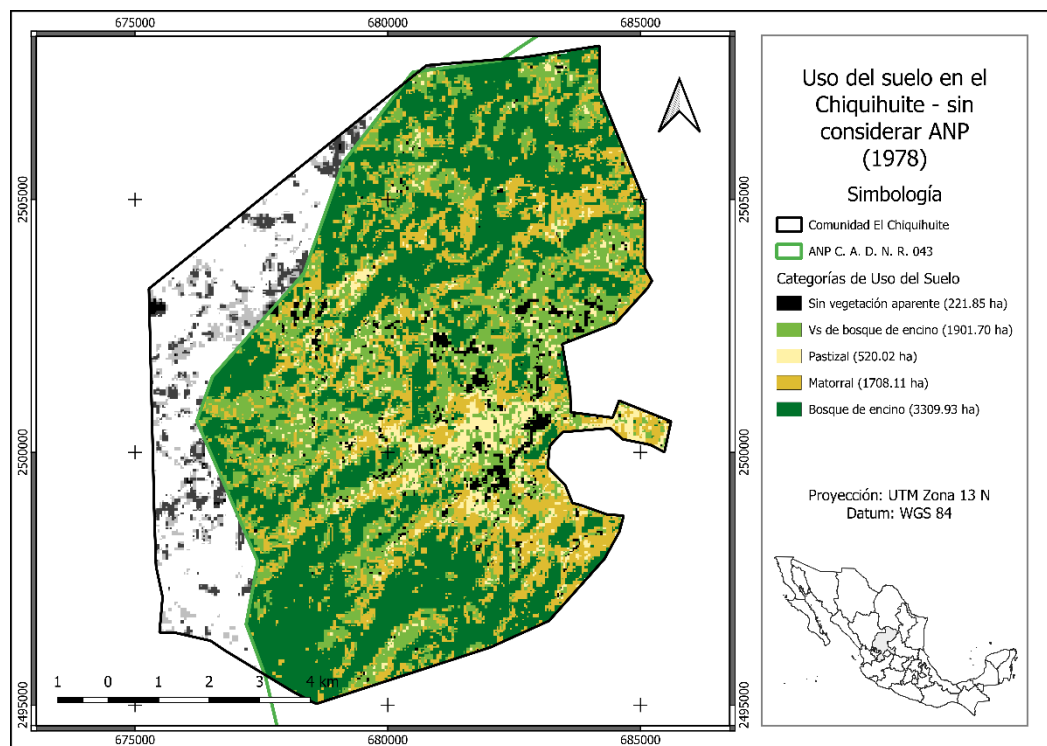


Figura 28. Uso del suelo en El Chiquihuite en 1978 sin considerar el área del ANP (7651.31 ha) (Elaboración propia en QGIS 3.3).

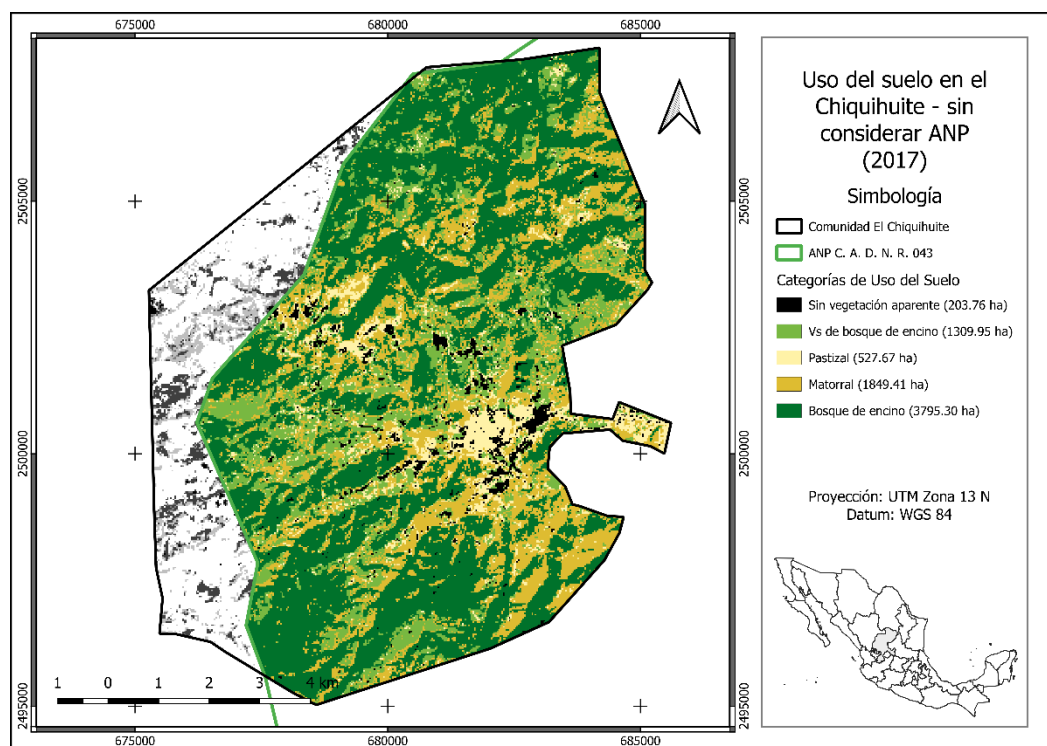


Figura 29. Uso del suelo en El Chiquihuite en 2017 sin considerar el área del ANP (7651.31 ha) (Elaboración propia en QGIS 3.3).

Adicional a la evaluación de la tasa de transformación del hábitat de las diferentes clases, se obtuvo la tasa de transformación tomando en cuenta únicamente las clases Forestal y No forestal. Esto da como resultado tasas de cambio = 0% que en área son cambios de sólo 1 ha. Esto es posiblemente un indicador de que no se ha perdido propiamente masa forestal, aunque el bosque es dinámico y puede variar a través del tiempo presentando diferentes estados sucesionales (Sánchez-Reyes et al., 2017).

Tabla 34. Tabulación cruzada, superficie de cambio de uso de suelo (píxeles). Comunidad El Chiquihuite entre 1978 y 2017.

ID	Cobertura	ha		Tasa de cambio
		1978	2017	
F	Forestal	8598.06	8599.14	0%
NF	No forestal	761.4	760.77	0%

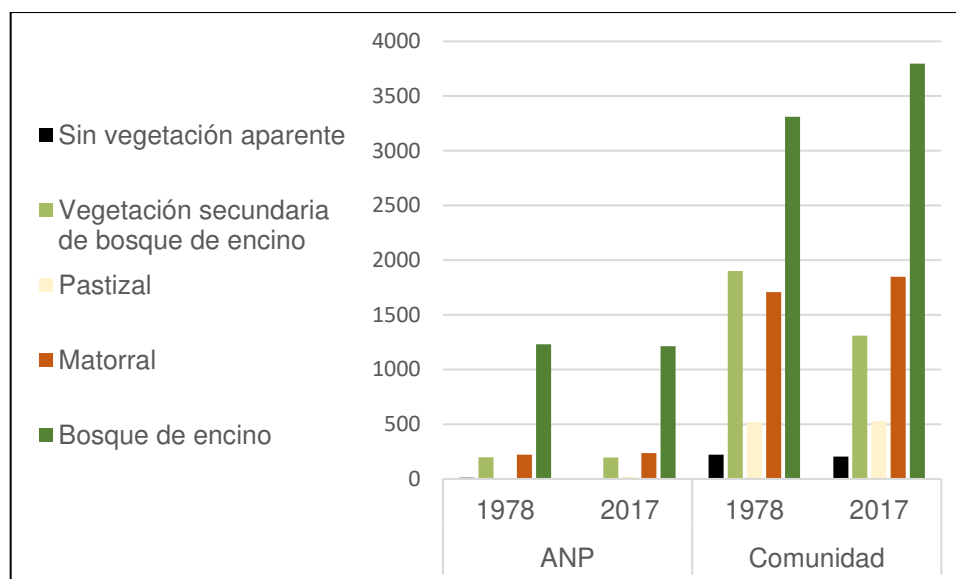


Figura 30. Cambio de uso de suelo de 1978 a 2017 dentro de la porción del ANP dentro de la comunidad El Chiquihuite (Elaboración propia).

De manera general, en estudios multitemporales, mediante el uso de imágenes clasificadas así como utilizando información vectorial, diversos autores realizan un análisis de transformación del hábitat (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), 2009a; Osuna-Osuna et al., 2015; Trucíos-Caciano, Rivera-González, Delgado-Ramírez, Estrada-Ávalos, & Cerano-Paredes, 2013; Trucios Caciano, Valenzuela Nuñez, Ríos Saucedo, Rivera González, & Estrada Ávalos, 2012; Trucíos et al., 2011; Velázquez, Mas, Gallegos-Díaz, et al., 2002), en los cuales se reportan resultados que varían entre las áreas de estudio. Trucios Caciano et al. (2012) reportan una tendencia positiva en la recuperación de los boques y pastizales para el estado de Coahuila entre 1992 y 2002 y una disminución en el matorral, aunque para Durango reportan resultados contrarios para el mismo periodo. Trucíos-Caciano et al. (2013) en San Cristóbal de las Casas, Chiapas también reportan la disminución de áreas de bosque de encino en el periodo de 1976 a 2002. Aunque la tendencia nacional sigue siendo la pérdida de la cobertura forestal, esta va en decremento (SEMARNAT, 2015), y estudios diversos reportan resultados similares a estas tasas de cambio (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), 2009a, 2009b; Osuna-Osuna et al., 2015;

Trucíos et al., 2011; Velázquez, Mas, Díaz Gallegos, et al., 2002; Velázquez, Mas, Gallegos-Díaz, et al., 2002), en estos trabajos se reportan tasas de cambio de 1% o inferiores en cuanto de pérdida de bosques, así como un aumento en áreas de pastizal y matorrales. En el presente trabajo las áreas agrícolas se engloban dentro de los pastizales. No obstante, para la comunidad el Chiquihuite, este no ha sido un factor determinante para el cambio de coberturas, esto quiere decir que no se ha ampliado realmente la frontera agrícola en áreas forestales, propiciando el cambio de uso de suelo.

Aunque algunos autores mencionan disminuciones y aumentos de miles de hectáreas en las coberturas de bosque y matorrales respectivamente (Sánchez-Reyes et al., 2017) no realizan un análisis de la tasa de transformación del hábitat, especialmente importante al utilizar como insumos la misma información, como lo es las cartas de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI y por lo tanto, no permiten tener una base para la comparación con otros trabajos, tanto institucionales como de investigación (SEMARNAT, 2015). De igual manera reportan clasificaciones con una precisión superior al 95%, lo que no representa necesariamente que los mapas de cambio de uso de suelo serán acertados (Global Forest Inventories Observations Initiative (GFOI), 2013). El cálculo de las tasas de cambio presentadas en este trabajo, a partir de la clasificación de imágenes satelitales Landsat para el periodo de 1978 -2017, permite reportar que ha habido una recuperación del bosque de encino. No obstante, al evaluar la vegetación bajo las categorías de Forestal y No forestal, se reporta que no ha habido cambios. Por último, se debe considerar que la comunidad forma parte del ANP y en toda esta los pobladores aplican la veda forestal que se encuentra en el decreto del ANP y esto permite establecer una relación favorable para mantener la masa forestal. Esto no quiere decir que el estado del bosque sea el óptimo, como se evalúa en el capítulo dos. De igual manera se debe de tomar en consideración la evaluación de la precisión de los mapas obtenidos para poder determinar la validez y el rango de esta en los resultados obtenidos.

CAPÍTULO V

5. DETERMINACIÓN DE LA DIVERSIDAD FLORÍSTICA DE LA COMUNIDAD

5.1. Resumen

Se realizó un levantamiento florístico en la comunidad El Chiquihuite durante las cuatro estaciones del año en los años de 2017 y 2018. Todas las especies fueron colectadas, prensadas, herborizadas y determinadas. De igual manera, se recurrió a especialistas en diferentes géneros y familias para dar certeza a las determinaciones taxonómicas de grupos difíciles, como los encinos y las cactáceas. Como resultado se presenta un listado con la flora de la comunidad, la cual consta de 95 especies distintas, 68 géneros, 48 familias, agrupados en 4 divisiones. Adicional a esto, se registra la especie *Salix jaliscana* para el estado de Zacatecas, anteriormente conocida únicamente para los estados de Jalisco, Nayarit, Michoacán, Nuevo León, Durango y Coahuila.

5.2. Introducción

Generalmente se puede malentender al hablar de un trabajo florístico o de vegetación ya que estos términos se suelen usar como sinónimos (Rodríguez Pérez, 2017). La información presentada a continuación representa un trabajo florístico, en el que se realiza la caracterización de la flora de la comunidad el Chiquihuite, obteniendo la riqueza específica del área (González Medrano, 2004). Este trabajo no incluye el análisis de la cantidad de individuos por especie con el fin de evaluar su representativa al interior de la comunidad, lo que representa un análisis de la vegetación (Rodríguez Pérez, 2017).

Actualmente, para el estado de Zacatecas, se estima una diversidad mayor a las 3,400 especies de plantas vasculares (Villaseñor, 2016), no obstante, no se cuenta con un listado taxonómico actualizado de la flora de Zacatecas y de igual manera, los estudios florísticos que hacen referencia a la flora del estado son menores en comparación con los de otros estados del país, reafirmando la falta de conocimiento que se tiene sobre uno de los estados de mayor superficie (Rodríguez Pérez, 2017).

La comunidad El Chiquihuite no cuenta con estudios florísticos hasta la fecha. No obstante se cuenta con un listado general de las especies vegetales representativas que se encuentran dentro del ANP Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 043 en la que se contabilizan 36 especies distintas (CONANP, s/f). Sin embargo, estas especies corresponden a las reportadas en el ANP, misma que tiene una superficie de 2,329,026.75 ha.

De acuerdo con esta ficha informativa y la carta de Uso de Suelo y Vegetación del estado (CONANP, s/f; CONAFOR, 2014), los tipos de vegetación que se pueden encontrar en la comunidad son Bosque de Encino, Bosque de Pino Encino, Bosque de Encino Pino, Pastizal Natural, Pastizal Inducido, Selva Baja Caducifolia, Matorral Xerófilo y Sin Vegetación Aparente.

5.3. Material y Métodos

Inventario florístico

Se realizaron colectas durante las cuatro estaciones repartidas en los años de 2017 y 2018, la colecta se realizó en la comunidad, colectando todas las plantas diferentes que se fueron encontrando al paso entre el núcleo poblacional y el Área Natural Protegida, prensándolas y posteriormente herborizándolas (secado, preparación y determinación taxonómica). Se obtuvieron entre dos a cuatro ejemplares por especie. Se georreferenciaron los ejemplares con un dispositivo GPS Garmin Etrex 10.

Los ejemplares fueron revisados en el herbario de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, el Herbario de la Universidad Autónoma de Zacatecas y el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango (CIIDIR). En el caso de los ejemplares del género *Quercus*, estos fueron corroborados por el especialista de encinos en el estado de Zacatecas, Dr. Luciano Sabás; el género *Phemeranthus* fue corroborado por el especialista de la familia Portulacaceae, el Dr. Gilberto Ocampo; los géneros *Arbutus* y *Pinus* fueron corroborados por la Dra. Socorro González-Elizondo; el género *Echinocereus* fue corroborado por el Dr. Daniel Sánchez, especialista en este género.

5.4. Resultados

Tabla 35. Listado de especies presentes en la comunidad El Chiquihuite.

División	Familia	Nombre científico
Angiospermas	Anacardiaceae	<i>Rhus allophylloides</i>
Angiospermas	Anacardiaceae	<i>Toxicodendron radicans</i>
Angiospermas	Apiaceae	<i>Lilaeopsis schaffneriana</i>
Angiospermas	Apocynaceae	<i>Asclepias linaria</i>
Angiospermas	Apocynaceae	<i>Asclepias otarioides</i>
Angiospermas	Apocynaceae	<i>Asclepias sp.</i>
Angiospermas	Asparagaceae	<i>Agave parryi var. truncata</i>
Angiospermas	Asparagaceae	<i>Agave schidigera</i>
Angiospermas	Asparagaceae	<i>Prochnyanthes mexicana</i>
Angiospermas	Asteraceae	<i>Baccharis salicifolia</i>
Angiospermas	Begoniaceae	<i>Begonia gracilis</i>
Angiospermas	Bromeliaceae	<i>Tillandsia erubescens</i>
Angiospermas	Bromeliaceae	<i>Tillandsia recurvata</i>
Angiospermas	Burseraceae	<i>Bursera fagaroides</i>
Angiospermas	Cactaceae	<i>Echinocereus acifer</i>
Angiospermas	Cactaceae	<i>Mammillaria densispina</i>
Angiospermas	Cactaceae	<i>Mammillaria melanocentra</i>
Angiospermas	Cactaceae	<i>Stenocactus multicostatus subsp. zacatecasensis</i>
Angiospermas	Campanulaceae	<i>Lobelia berlandieri</i>
Angiospermas	Campanulaceae	<i>Lobelia laxiflora var. angustifolia</i>
Angiospermas	Caprifoliaceae	<i>Lonicera pilosa</i>
Angiospermas	Caprifoliaceae	<i>Valeriana laciniosa</i>
Angiospermas	Cistaceae	<i>Helianthemum glomeratum</i>
Angiospermas	Commelinaceae	<i>Commelina dianthifolia</i>
Angiospermas	Commelinaceae	<i>Gibasis linearis</i>
Angiospermas	Crassulaceae	<i>Echeveria agavoides</i>
Angiospermas	Crassulaceae	<i>Sedum moranense</i>
Angiospermas	Cyperaceae	<i>Carex boliviensis</i>
Angiospermas	Ericaceae	<i>Arbutus arizonica</i>
Angiospermas	Ericaceae	<i>Arbutus bicolor</i>
Angiospermas	Ericaceae	<i>Arbutus tessellata</i>
Angiospermas	Ericaceae	<i>Arctostaphylos pungens</i>
Angiospermas	Ericaceae	<i>Comarostaphylos polifolia</i>
Angiospermas	Euphorbiaceae	<i>Jatropha dioica</i>
Angiospermas	Fabaceae	<i>Cologania angustifolia</i>
Angiospermas	Fabaceae	<i>Macroptilium sp.</i>
Angiospermas	Fagaceae	<i>Conopholis alpina</i>

División	Familia	Nombre científico
Angiospermas	Fagaceae	<i>Quercus eduardii</i>
Angiospermas	Fagaceae	<i>Quercus jonesii</i>
Angiospermas	Fagaceae	<i>Quercus laeta</i>
Angiospermas	Fagaceae	<i>Quercus potosina</i>
Angiospermas	Fagaceae	<i>Quercus rugosa</i>
Angiospermas	Fagaceae	<i>Quercus sideroxyla</i>
Angiospermas	Garryaceae	<i>Garrya laurifolia</i>
Angiospermas	Garryaceae	<i>Garrya ovata</i>
Angiospermas	Geraniaceae	<i>Geranium latum</i>
Angiospermas	Hypoxidaceae	<i>Hypoxis mexicana</i>
Angiospermas	Iridaceae	<i>Sisyrinchium tenuifolium</i>
Angiospermas	Lamiaceae	<i>Prunella vulgaris</i>
Angiospermas	Lamiaceae	<i>Salvia axillaris</i>
Angiospermas	Lentibulariaceae	<i>Pinguicula oblongiloba</i>
Angiospermas	Oleaceae	<i>Forestiera phillyreoides</i>
Angiospermas	Oleaceae	<i>Fraxinus uhdei</i>
Angiospermas	Onagraceae	<i>Oenothera rosea</i>
Angiospermas	Orchidaceae	<i>Hexalectris parviflora</i>
Angiospermas	Oxalidaceae	<i>Oxalis decaphylla</i>
Angiospermas	Oxalidaceae	<i>Oxalis hernandezii</i>
Angiospermas	Oxalidaceae	<i>Oxalis lunulata</i>
Angiospermas	Plantaginaceae	<i>Stemodia duranthifolia</i> var. <i>duranthifolia</i>
Angiospermas	Plantaginaceae	<i>Veronica peregrina</i>
Angiospermas	Poaceae	<i>Aegopogon cenchroides</i>
Angiospermas	Poaceae	<i>Agrostis hyemalis</i>
Angiospermas	Portulacaceae	<i>Phemeranthus multiflorus</i>
Angiospermas	Ranunculaceae	<i>Thalictrum strigillosum</i>
Angiospermas	Rosaceae	<i>Fragaria mexicana</i>
Angiospermas	Rosaceae	<i>Prunus serotina</i>
Angiospermas	Rubiaceae	<i>Bouvardia obovata</i>
Angiospermas	Rutaceae	<i>Ptelea trifoliata</i>
Angiospermas	Salicaceae	<i>Salix bonplandiana</i>
Angiospermas	Salicaceae	<i>Salix jaliscana</i>
Angiospermas	Salicaceae	<i>Salix taxifolia</i>
Angiospermas	Santalaceae	<i>Phoradendron forestierae</i>
Angiospermas	Sapindaceae	<i>Dodonaea viscosa</i>
Angiospermas	Saxifragaceae	<i>Heuchera mexicana</i>
Angiospermas	Violaceae	<i>Viola barroetana</i>
Gimnospermas	Cupressaceae	<i>Juniperus deppeana</i>
Gimnospermas	Cupressaceae	<i>Juniperus flaccida</i>
Gimnospermas	Pinaceae	<i>Pinus cembroides</i>
Gimnospermas	Pinaceae	<i>Pinus devoniana</i>

División	Familia	Nombre científico
Gimnospermas	Pinaceae	<i>Pinus leiophylla</i>
Gimnospermas	Pinaceae	<i>Pinus lumholtzii</i>
Helechos	Aspleniaceae	<i>Asplenium palmeri</i>
Helechos	Dryopteridaceae	<i>Elaphoglossum rzedowskii</i>
Helechos	Polypodiaceae	<i>Pleopeltis guttatum</i>
Helechos	Polypodiaceae	<i>Pleopeltis polylepis</i>
Helechos	Polypodiaceae	<i>Pleopeltis thyssanolepis</i>
Helechos	Pteridaceae	<i>Astrolepis integerrima</i>
Helechos	Pteridaceae	<i>Bommeria pedata</i>
Helechos	Pteridaceae	<i>Cheilanthes farinosa</i>
Helechos	Pteridaceae	<i>Myriopteris aurea</i>
Helechos	Pteridaceae	<i>Pellaea cordifolia</i>
Helechos	Pteridaceae	<i>Pellaea ternifolia</i>
Licofitas	Selaginellaceae	<i>Selaginella lepidophylla</i>
Licofitas	Selaginellaceae	<i>Selaginella pallescens</i>
Licofitas	Selaginellaceae	<i>Selaginella rupicola</i>

Tabla 36. Resumen de la diversidad florística de la comunidad el Chiquihuite.

Grupo	Familia	Género	Especies
Licofitas	1	1	3
Helechos	4	8	11
Gimnospermas	2	2	6
Angiospermas	41	57	75
Total	48	68	95

A partir de los muestreos se determinó la diversidad florística de la comunidad el Chiquihuite, resaltando la especie *Salix jaliscana*, la cual representa un nuevo registro para el estado de Zacatecas, anteriormente conocida únicamente para los estados de Jalisco, Nayarit, Michoacán, Nuevo León, Durango y Coahuila. Aunque puede resultar obvia la distribución de esta especie para el estado de Zacatecas, no se contaba con ningún registro con algún ejemplar herborizado. En este caso el ejemplar será depositado en la colección del Herbario de la Facultad de Ciencias Forestales de la universidad Autónoma de Nuevo León.

Descripción de las características de *Salix jaliscana*

Hojas elípticas-obovadas a oblongo-lanceoladas, de 2 a 4 pulgadas de largo; oscuras y sin brillo y venas amarillas prominentes arriba. Muy glauca y ligeramente pubescente abajo. Estriado y revuelto de forma minúscula, fina y estrecha, sólo las hojas más estrechas son agudas o poco acuminadas, pecíolos glandulares y 2-3 líneas largas y gruesas; ninguna estipula; las ramas nuevas estacionales son amarillas y lanudas, las más viejas son de color marrón rojizo oscuro y suaves; los amentos son muy densos, ampliamente lineales, de 1 a 2 pulgadas de largo, sobre pedúnculos largos y frondosos en los cuales las hojas superiores son más largas que los amentos y son obovadas y estrechas, pero se truncan por debajo; vainas romboidales-obovadas, 1 línea larga, lisa y corrugadas con la edad, pero lanosa decidua en ejemplares jóvenes; estipe casi tan largo como la vaina y muy lanudo; escamas ovaladas; estilos evidentes, casi tan largos como la amplitud de los estigmas (Jones, 1935) .



Figura 31. Inflorescencia de *Salix jaliscana* (Fotografía por EJR).



Figura 32. Hojas de *Salix jaliscana* (Fotografía por EJRP).

CAPITULO VI

6. PROPUESTA DE ZONIFICACIÓN

6.1. Resumen

A partir del análisis del cambio de uso del suelo y de la carta de vegetación para la comunidad el Chiquihuite, se presenta una propuesta de zonificación, la cual se realiza de acuerdo con los criterios presentes en la LGEEPA (2016), estos son de protección, conservación, restauración y aprovechamiento.

La comunidad no aprovecha el bosque de encino debido a la veda que existe sobre el Área Natural Protegida, sin embargo, realizan el pastoreo de ganado de manera extensiva, en prácticamente todo su territorio. De igual manera realizan agricultura de temporal de maíz, chile y frijol. Actualmente cuentan con un permiso de aprovechamiento no maderable, que les permite aprovechar plantas medicinales.

Aunque de manera inicial se tenía considerada información de la CONAFOR en materia de apoyos recibidos por la comunidad para ejecutar acciones en pro de la conservación de sus recursos forestales, no fue posible contar con la información espacial de dichos esfuerzos.

La zonificación se realizó de acuerdo con 1) Zona urbana (75.5 ha); 2) Zona de aprovechamiento (911 ha); 3) Zona de protección (2070 ha); 4) Zona de restauración (1174 ha); 5) Zona de conservación (5221 ha).

6.2. Introducción

Existen leyes e instrumentos de planeación territorial, impulsadas por los estados en pro de consolidar el desarrollo de ejidos y comunidades en los aspectos ambiental, social y económico. Esto se da a raíz de la crisis ambiental que se sufre a nivel mundial, dada por el deterioro de los sistemas ambientales, su destrucción, sobreexplotación y subutilización a partir de la visión mercantilista de corto plazo que se ha tenido sobre los recursos ambientales (Anta Fonseca et al., 2006).

Específicamente hablando de la propiedad social, que como se ha mencionado anteriormente representa la mitad del territorio nacional en propiedad de ejidos y comunidades (Madrid et al., 2009), esta ha consolidado prácticas como la expansión de la agricultura en terrenos no aptos (terrenos forestales), la no rotación de cultivos y la práctica de la ganadería extensiva que usualmente sobrepasa la capacidad de carga y se realiza en áreas forestales, permitiendo el deterioro ambiental. El resultado o posible resultado de estas prácticas, usualmente no es percibido claramente por los habitantes de ejidos o comunidades, y no obstante, es relevante para su desarrollo. Esto en adición a que en ellos se concreta el manejo del territorio, representa la importancia en convenir las prácticas tradicionales con el conocimiento técnico con el fin de realizar un uso sustentable del territorio (Anta Fonseca et al., 2006).

Para este fin (uso sustentable del territorio), se pueden utilizar dos instrumentos de planeación, aunque en México difieren en su definición jurídica, enfocados a distintos objetivos, su fin viene siendo el mismo: la ordenación de los recursos naturales en zonas, cada una con criterios específicos para poder realizar un uso sustentable de los mismos. Por un lado, el Ordenamiento Ecológico se define como *“El instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento*

sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos” (LGEEPA, 2012); por otro lado, la Zonificación es “El instrumento técnico de planeación que puede ser utilizado en el establecimiento de las ANP , que permite ordenar su territorio en función del grado de conservación y representatividad de sus ecosistemas, la vocación natural del terreno, de su uso actual y potencial, de conformidad con los objetivos dispuestos en la misma declaratoria...” (LGEEPA, 2012).

La zonificación ecológica es un proceso de división o parcelamiento, regular o irregular, que permite la planificación del uso del suelo en un área determinada, tomando en cuenta tanto los elementos bióticos y físicos, como los aspectos socio-económicos y que permitan establecer zonas aptas para posibles tipos de utilización de los recursos naturales (FAO, 1997; M. A. García et al., 1999; Secretaria Pro Tempore, 1998) Este principio se ha usado para planificar los usos del suelo en ANP, en los que *“cada zona y subzona tiene objetivos de manejo distintos, lo que permite que dentro de un área decretada se puedan realizar diferentes actividades compatibles con los factores físicos, biológicos, sociales y económicos de la zona”* (Iñiguez-Dávalos et al., 2014).

En el caso de este trabajo, se realiza una zonificación con base en los productos obtenidos a partir de la evaluación del estado de la vegetación, el análisis multitemporal de imágenes Landsat y la carta de Uso de Suelo y Vegetación obtenida a partir de la clasificación supervisada de la imagen Landsat del año 2017 como el apoyo técnico al proceso de Ordenamiento Territorial Comunitario el cual los habitantes de la comunidad El Chiquihuite tienen planeado concretar en el corto plazo.

Las políticas de uso del suelo para cada zona son propuesta con base en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA, 2012).

6.3. Material y Métodos

El análisis espacial de la información se realizó mediante el empleo de los productos obtenidos en este trabajo: Carta de Uso de Suelo y Vegetación derivada de la clasificación supervisada de la imagen Landsat de 2017, Mapa de Cambio de Uso de Suelo derivado de la clasificación de las imágenes de 1978 y 2017, así como la información de los proyectos ejecutados a través de la CONAFOR en los últimos cinco años en materia forestal, información topográfica actualizada, y el modelo digital de elevación. Esto se realizó mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica QGIS y Google Earth y considerando un nivel local en la escala: 1:7 000.

Se propusieron políticas de uso del suelo con base en la LGEEPA, (2012):

- Conservación: políticas y medidas para mantener las condiciones que propician la evolución y la continuidad de los ecosistemas y hábitat naturales, así como para conservar las poblaciones viables de especies en sus entornos naturales y los componentes de la biodiversidad fuera de sus hábitat naturales.
- Restauración: actividades tendientes a la recuperación y restablecimiento de las condiciones que propician la evolución y la continuidad de los procesos naturales.
- Protección: políticas y medidas para mejorar el ambiente y controlar su deterioro.
- Aprovechamiento sustentable: la utilización de los recursos naturales en forma que se respete la integridad funcional y la capacidad de carga de los ecosistemas de los que son parte, por periodos indefinidos.

6.4. Resultados

Las tierras comunales de El Chiquihuite se dividieron en:

1. Áreas para el asentamiento humano (Zona Urbana).
2. Áreas parceladas de labor agrícola (para la agricultura de básicos; Zona de Aprovechamiento Agrícola).
3. Áreas para la ganadería (Zona de Aprovechamiento Ganadero).
4. Área Natural Protegida para la conservación de recursos naturales y la protección de manantiales (Zona de Protección).
5. Áreas para la restauración y reforestación (Zona de Restauración).
6. Áreas para la conservación de los recursos naturales pero en la que pudieran realizar prácticas productivas a través de la gestión, por ejemplo, de una Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (Zona de conservación).

Tabla 37. Área en ha por cada zona. Se hace la distinción entre zona de aprovechamiento agrícola y pecuario.

Zonificación	Área (ha)
Zona aprovechamiento agrícola	133.223
Zona aprovechamiento pecuario	778.068
Zona conservación	5221.214
Cuerpos de agua	5.328
Zona protección	2070.655
Zona Restauración	1174.116
Zona urbana y caminos	75.503

Zona urbana

Esta zona se encuentra constituida por las casas y solares de los comuneros y se define como de uso exclusivamente urbano.

1. En la Zona Urbana las autoridades municipales y comunales deberán de llevar a cabo actividades que promuevan el uso adecuado de las calles y áreas comunes de convivencia social (escuelas, iglesia, canchas, etc.). Entre estas actividades se encuentran:

- El manejo adecuado de la basura a través de la promoción del reciclado y la disposición adecuada en rellenos controlados.

Zona de aprovechamiento agrícola

Las áreas destinadas a la agricultura, así como los acahuales necesarios para mantener la fertilidad de las milpas. En estas áreas se podrán realizar las siguientes actividades:

1. Se evitará emplear el uso del fuego, para lo cual los representantes del Comisariado de Bienes Comunales realizarán gestiones ante las instituciones de gobierno para promover una agricultura que proteja el suelo y conserve los recursos naturales.
2. En las zonas de agricultura los comuneros tratarán de realizar acciones que ayuden a conservar el suelo e incrementen su fertilidad.
3. En estas zonas está permitida la caza de animales dañeros (tejón, mapache, jabalí, etc.).
4. Dar continuidad a los programas implementados por la CONANP en cuanto al cultivo del Maíz Criollo.

Zona de aprovechamiento pecuario

Esta zona hace referencia a los sitios destinados para las actividades ganaderas.

1. Los comuneros deberán procurar establecer áreas ganaderas en sitios que no provoquen pérdida del suelo (cercado para exclusión de ganado).
2. Promover el uso de especies arbóreas forrajeras y de técnicas de suplementación alimenticia con cultivo de zacates de corte.
3. Se deberá evitar la formación de terracetas y la compactación del suelo en los potreros por el sobrepastoreo.

Zona de aprovechamiento forestal

Debido a la declaratoria de Área Natural Protegida, en la comunidad no se puede realizar aprovechamiento forestal maderable. No obstante, cuentan la autorización para el aprovechamiento forestal no maderable, específicamente para el aprovechamiento de plantas medicinales.

1. Se deberá respetar las áreas establecidas en la autorización correspondiente, evitando aprovechar en cualquier otra área.
2. En el caso de requerir madera verde para la construcción o mejoramiento de vivienda se solicitará permiso al Comisariado de Bienes Comunales y al Consejo de Vigilancia.
3. El aprovechamiento forestal no maderable comercial se podrá realizar siempre y cuando se cuente con la autorización de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Zona de protección

Esta zona se caracteriza por tener vegetación de bosque de encino. El Área Natural Protegida abarca el 18% del territorio de la comunidad, enfocada a conservar las áreas de bosque de encino.

En la Zona de Conservación queda prohibido realizar las siguientes actividades:

1. Desmontar o dañar la vegetación con fines agrícolas o pecuarios, y otra actividad que dañe los bosques y la vida silvestre de esta zona.
2. Llevar a cabo actividades de cacería de animales de monte (fauna silvestre).
3. Extracción de cualquier tipo de plantas, animales, frutos y semillas.
4. Extracción de madera y leña.

Está prohibida la cacería en la Zona de protección y se considera a los siguientes animales de monte como sujetos a la protección de la comunidad:

- | | |
|--|--|
| ▪ Puma (<i>Puma concolor</i>) | ▪ Pecarí de collar (<i>Pecari tajacu</i>) |
| ▪ Gato montés (<i>Lynx rufus</i>) | ▪ Víbora de cascabel (<i>Crotalus sp.</i>) |
| ▪ Coyote (<i>Canis latrans</i>) | |
| ▪ Venado (<i>Odocoileus virginianus</i>) | |

Así como las especies que se encuentran en algún estatus de protección de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

Se consideran animales que se pueden cazar exclusivamente dentro de las tierras de cultivo a los siguientes:

- | | |
|--|-------------------------------------|
| ▪ Ardillas | ▪ Zorra |
| ▪ Liebre | ▪ Mapache |
| ▪ Zorrillo | ▪ Tlacuache (<i>Didelphis sp</i>) |
| ▪ Paloma huilota (<i>Zenaida macroura</i>) | |

Zona de restauración ambiental

Se refiere a aquellas áreas que han sido afectadas por incendios forestales o por procesos de pérdida de suelos. En estos sitios la comunidad realizará

actividades de reforestación con especies nativas, así como obras de conservación del suelo.

1. En esta zona queda prohibido el establecimiento de potreros, cultivos y actividades de pastoreo.
2. Los comuneros deberán participar en las labores de restauración que programe anualmente el Comisariado de Bienes Comunales.
3. Zanjas para recuperación de suelo y retención de humedad

Zona de conservación

Esta zona se caracteriza por tener vegetación de bosque de encino. El Área Natural Protegida abarca el 18% del territorio de la comunidad, enfocada a conservar las áreas de bosque de encino.

En la Zona de Conservación queda prohibido realizar las siguientes actividades:

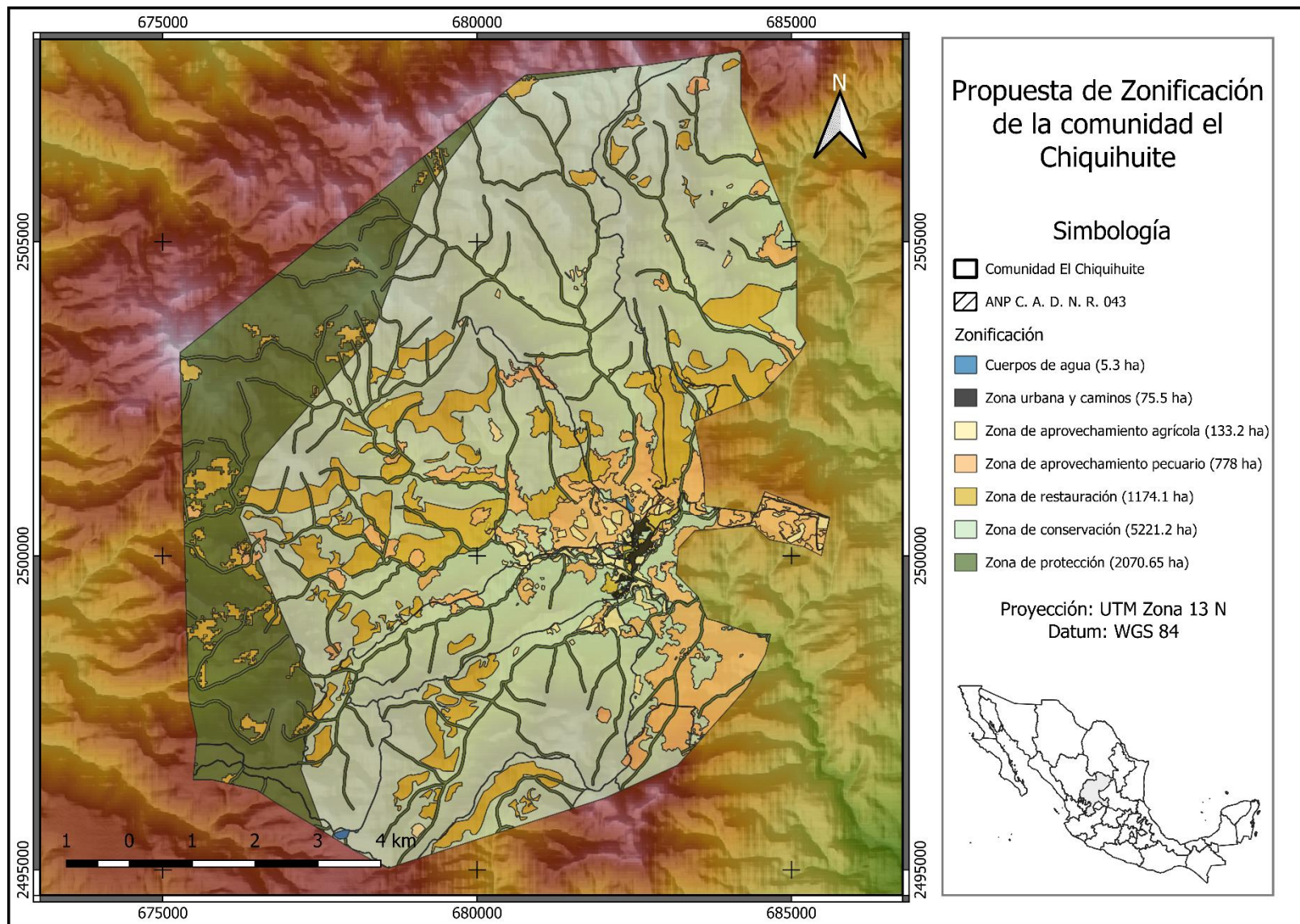
1. Desmontar o dañar la vegetación con fines agrícolas o pecuarios, y otra actividad que dañe los bosques y la vida silvestre de esta zona.
2. Llevar a cabo actividades de cacería de animales de monte (fauna silvestre).
3. Extracción de cualquier tipo de plantas, animales, frutos y semillas.
4. Extracción de madera y leña.

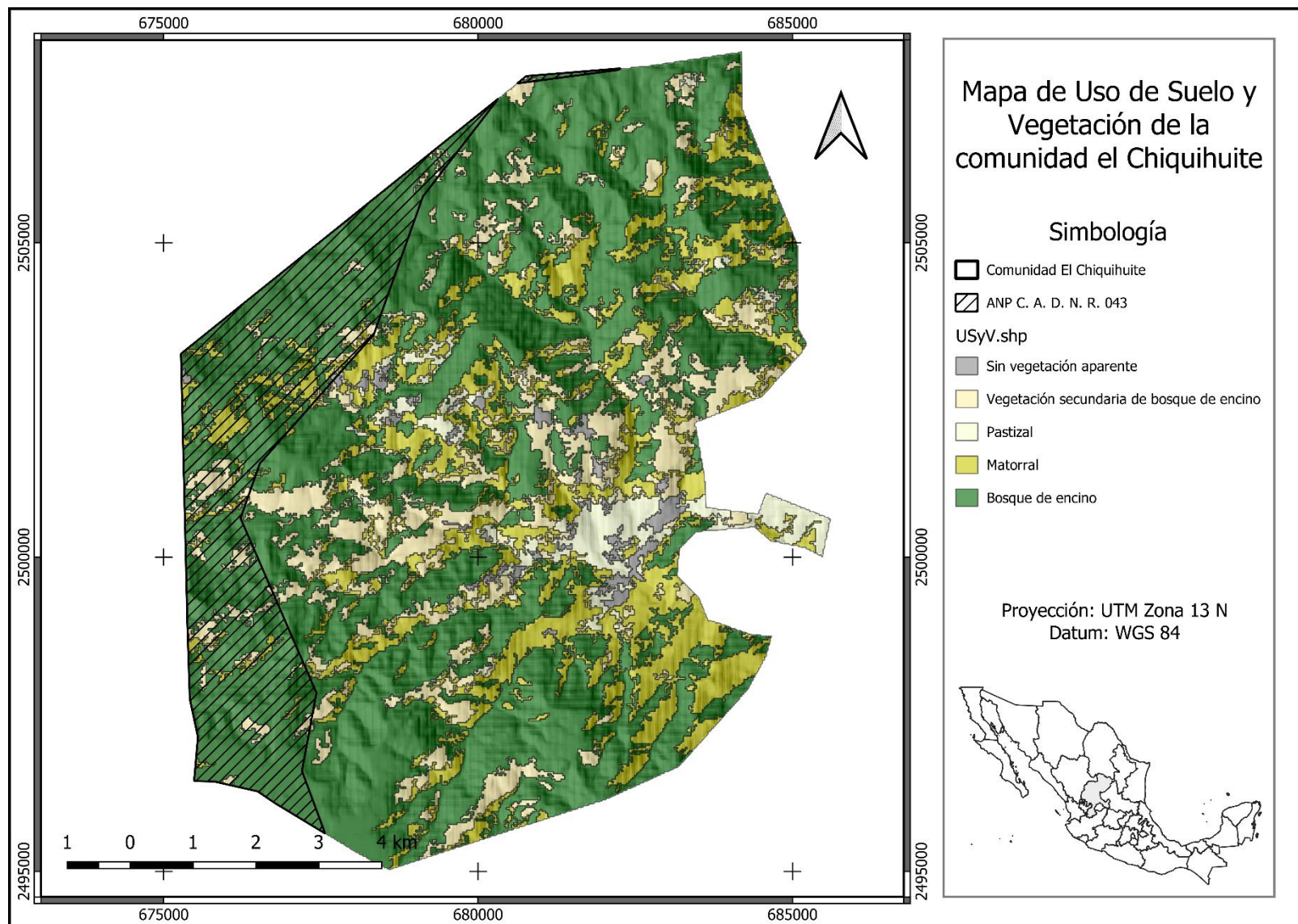
Reglas para el uso y acceso de los recursos forestales

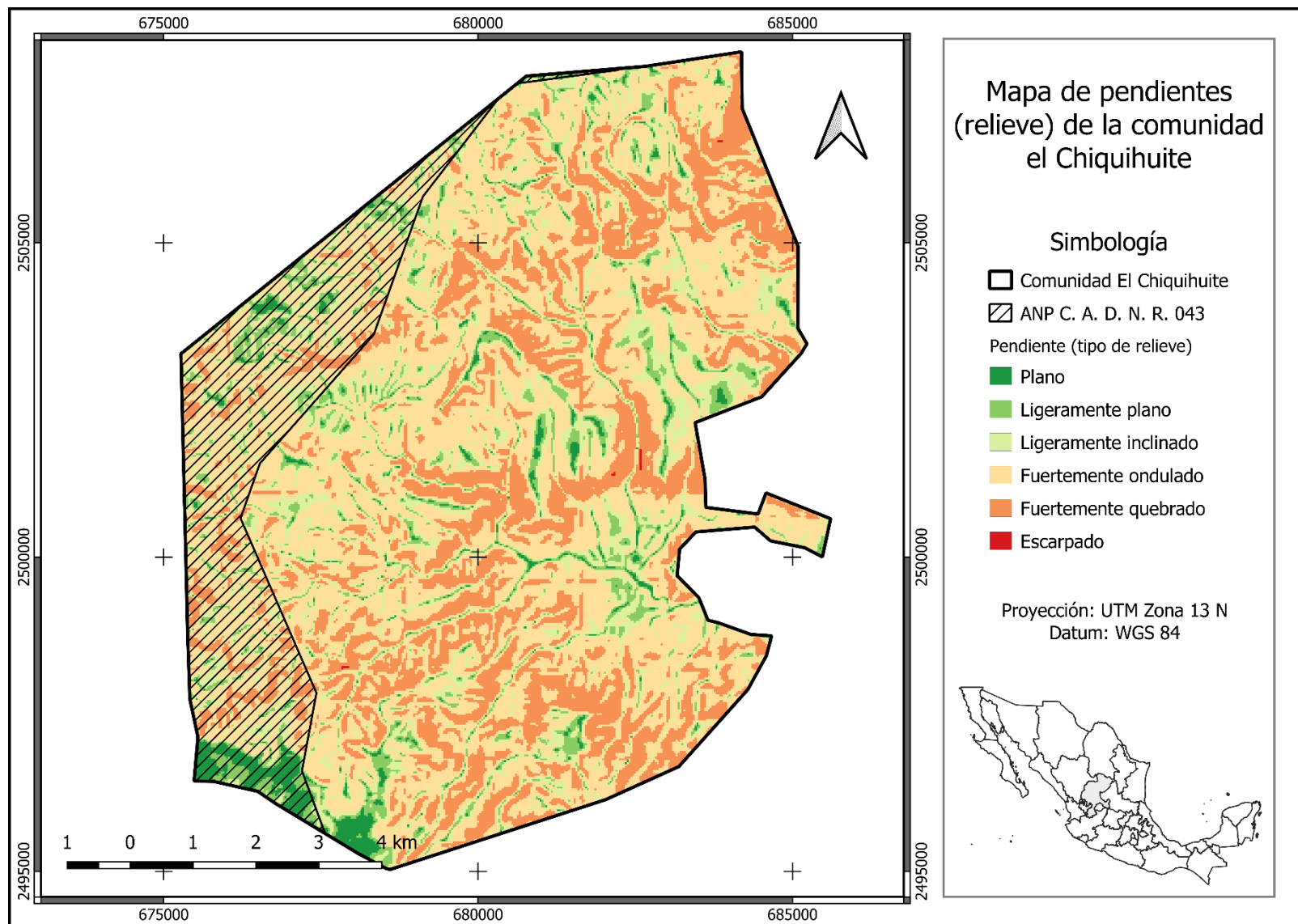
Estas reglas se establecen en el estatuto comunal, sin embargo no existen reglas explícitas para definir qué cantidades se permiten para el uso y acceso de los recursos forestales.

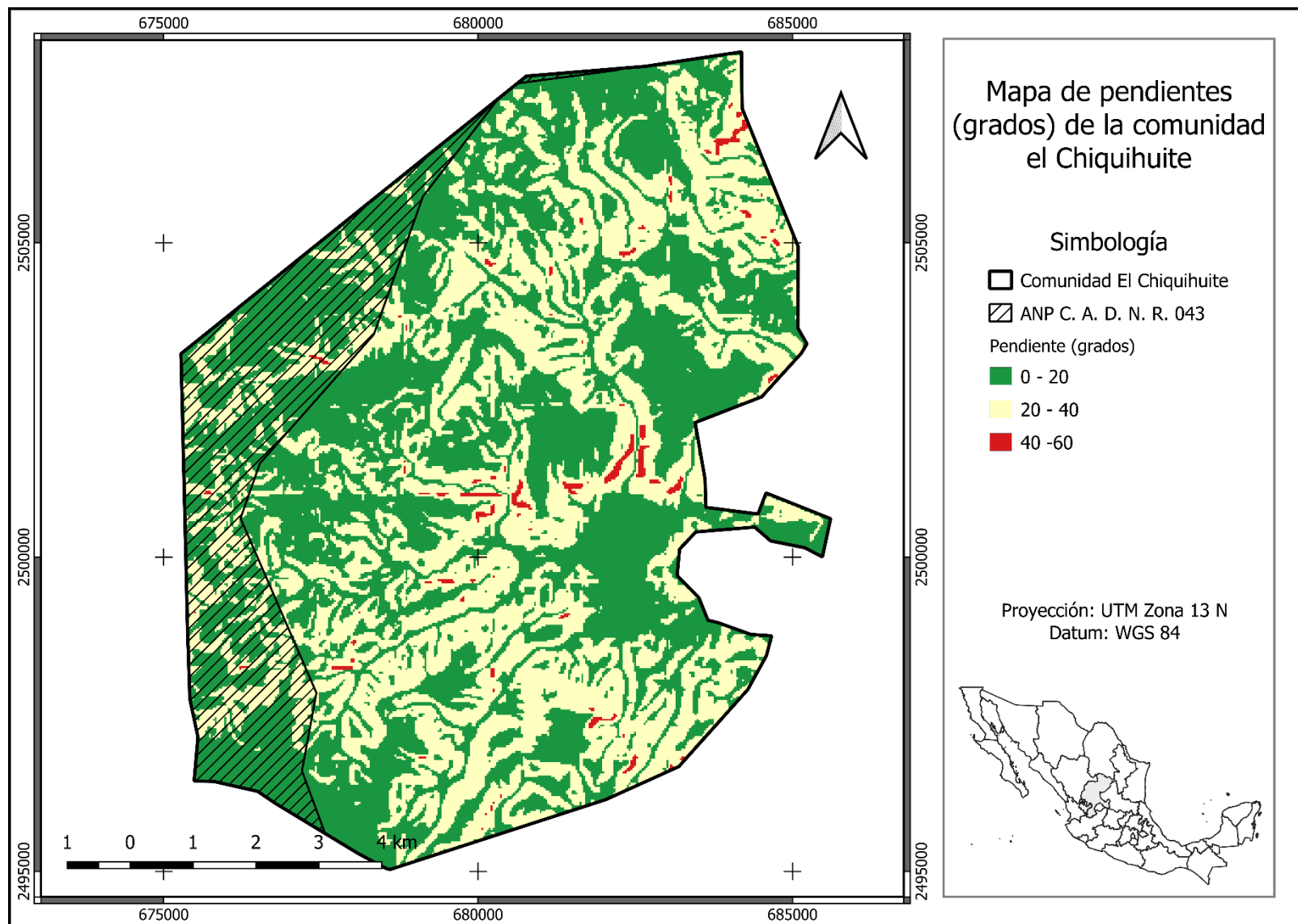
En materia de ganadería existe cierta regulación que corresponde al barrido sanitario, sin embargo, se sabe que cuando se realizó el barrido no todas las personas reportaron la cantidad de cabezas que poseían ya sea por no pagar el barrido o por no saber el número exacto de cabezas al encontrarse estas en la sierra por largas temporadas.

No se tiene información precisa sobre la extracción ilegal de flora y fauna en la comunidad, sin embargo si se rumora que en temporadas de caza de venado en su sierra pueden adentrarse los cazadores sin ser reportados a las autoridades. No se aplica ningún tipo de sanción por las irregularidades cometidas.









6.5. Discusión

La representación cartográfica para una zonificación local es uno de los puntos prioritarios a tener en cuenta debido a que muchos ejidos y comunidades no superan las 10,000 ha (Anta Fonseca et al., 2006). Como es el caso de la comunidad el Chiquihuite, en el que una representación cartográfica realmente útil es la de 1:20 000, que permita tener suficiente detalle para la planificación de las actividades en las distintas zonas. Esta escala fue definida intencionalmente con tal de evitar manipular la escala de representación de la cartografía para “ajustarla” a las dimensiones de la comunidad (Anta Fonseca et al., 2006).

La presente zonificación atiende a la problemática relacionada con una falta de información fidedigna en materia ambiental por parte de los habitantes de la comunidad, y es parte de un proceso más complejo encaminado al Ordenamiento Territorial Comunitario. En este caso, se atañe al subsistema ambiental o natural, el cual determina el impacto acumulativo de los métodos de explotación en el ambiente y las condicionantes físicas (disponibilidad) que el medio impone a los procedimientos de utilización de los recursos naturales. Los subsistemas social y económico que tienen por objetivo identificar las condiciones de vida de los sujetos sociales y precisar los elementos de producción y reproducción de capital que conforman los usos del suelo en el territorio, deberán ser abordados durante el proceso de Ordenamiento. Si no se toma en cuenta la relación económica, social y ambiental intrínseca entre la comunidad y su entorno (su territorio), el estudio del territorio o las técnicas usadas para este fin no tienen relevancia como objeto de estudio, por lo que debe realizarse desde un punto de vista de apropiación. Y finalmente, la zonificación únicamente enmarca información en el sentido de un instrumento de planeación, el cual será inacabada y perecedera (Anta Fonseca et al., 2006), dos rasgos inherentes al estudio de cualquier sistema ambiental.

7. CONCLUSIONES

El Área Natural Protegida, aunque no cuenta con programa de manejo, sí funciona en cuanto a limitar la deforestación en el territorio de la comunidad. De igual manera se tiene una mejor condición dentro del ANP que en el resto de la comunidad.

Se debe de tener precaución al utilizar imágenes satelitales con una resolución espacial no óptima para estudios locales, sin embargo, las misiones Landsat son las únicas que registran la cobertura terrestre en un periodo mayor a los 40 años.

Es necesario realizar la evaluación de la precisión de los mapas de uso de suelo y reportar los intervalos de confianza con tal de reportar resultados más transparentes.

El inventario florístico es un aporte importante dado que no se cuenta con este tipo de información para la comunidad. De igual manera, este inventario permite aumentar la distribución de la especie *Salix jaliscana* para el estado de Zacatecas, siendo un aporte al conocimiento de la biodiversidad Zacatecana.

El proceso de clasificación de imágenes satelitales debe de ajustarse a los objetivos del trabajo, considerando siempre el preproceso como pilar de esta. De igual manera, es importante siempre tomar con cautela, por ejemplo, clasificaciones que reportan valores superiores al 96% pero que no publican datos sobre la estimación de áreas e intervalos de confianza a partir de las matrices de error. Finalmente, para este trabajo, se ha generado información de calidad, que permite realizar una planeación del uso de la tierra, con reglas sencillas que permitan encaminar a la comunidad hacia un aprovechamiento sustentable de sus recursos naturales.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Anta Fonseca, S., Arreola Muñoz, A. V., González Ortiz, M. A., & Acosta Gonzalez, J. (2006). Ordenamiento Territorial Comunitario: un debate de la sociedad civil hacia la construcción de políticas públicas. In *Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMANRNAT)* (1st ed., Vol. 1).
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Baca-Venegas, J. M. (2000). *Caracterización de la estructura vertical y horizontal en bosques de pino-encino*. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Balmford, A., Bruner, A., Cooper, P., Costanza, R., Farber, S., Green, R. E., ... Turner, R. K. (2002). Economic Reasons for Conserving Wild Nature. *Science*, 297(5583), 950–953. <https://doi.org/10.1126/science.1073947>
- Berlanga-Robles, C. A. . b, & Ruiz-Luna, A. . (2006). Assessment of landscape changes and their effects on the San Blas estuarine system, Nayarit (Mexico), through Landsat imagery analysis. *Ciencias Marinas*, 32(3), 523–538. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-33750501398&partnerID=40&md5=44a29780a2fee6e35f981ef54dd31cd1>
- Bezaury-Creel, J., & Gutiérrez Carbonell, D. (2009). Áreas naturales protegidas y desarrollo social en México. In J. Sarukhán (Ed.), *Capital Natural de México* (1st ed., pp. 385–431). México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Bray, D. B., Merino-Pérez, L., & Barry, D. (2005). *The community forests of Mexico: managing for sustainable landscapes* (1st ed.). Austin: University of Texas Press.
- Caciano, R. T., González, M. R., Ramírez, G. D., Estrada, J., & Cerano, J. (2013). Análisis sobre cambio de uso de suelo en dos escalas de trabajo. *Terra Latinoamericana*, 31(4), 339–346.
- Campo, A. M., & Duval, V. S. (2014). Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina). *Anales de Geografía*, 34(2), 25–42.

https://doi.org/10.5209/rev_AGUC.2014.v34.n2.47071

Cano Salinas, L., Rodríguez Laguna, R., Valdez Lazalde, J. R., Acevedo

Sandoval, O. A., & Beltrán Hernández, R. I. (2017). Detección del crecimiento urbano en el estado de Hidalgo mediante imágenes Landsat.

Investigaciones Geográficas, (92), 1–2. <https://doi.org/10.14350/rig.52339>

CBD. (2010). Decision adopted by the conference of the parties to the convention on biological diversity at its tenth meeting x/2. In *Conference of the parties to the convention on biological diversity Tenth meeting*.

https://doi.org/10.1007/978-90-481-9659-3_119

Cervantes-Zamora, Y., Cornejo-Olgín, S. L., Lucero-Márquez, R., Espinoza-

Rodríguez, J. M., Miranda-Viquez, E., & Pineda-Velázquez, A. (1990).

Provincias Fisiográficas de México. In *Atlas Nacional de México. Vol. II*.

Retrieved from

http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/edafo/tsuelo/eda250s2gw

Chauvenet, A. L. M., & Barnes, M. (2016). Expanding protected areas is not enough. *Science*, 353(6299), 551.3-552.

<https://doi.org/10.1126/science.aah3762>

Cochran, W. G. (1977). *Sampling Thechniques* (3rd ed.; Harvard University, Ed.). John Wiley & Sons.

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). (1972a). *Carta de Uso del Suelo F13B66 Escala 1:50,000 (Ermita de Guadalupe)*. México, D. F.: Dirección General de Estudios del Territorio Nacional, Coordinación General del Sistema Nacional de Información, Secretaría de Programación y Presupuesto.

Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). (1972b). *Carta de Uso Potencial F13B66 Escala 1:50,000 (Ermita de Guadalupe)*. México, D. F.: Dirección de Estudios Económicos, Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL), Secretaría de la Presidencia.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (n.d.-a). *Cuenca alimentadora del distrito nacional de riego 04 Don Martín*.

- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (n.d.-b). *Ficha Informativa Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 043 Estado de Nayarit*. Retrieved from https://simec.conanp.gob.mx/ficha_pdf.php?anp=4®=11
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2007). *Protocolo para la Evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México*. México, D. F.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2009a). *Análisis de tasa de transformación del habitat en áreas naturales protegidas federales con ecosistemas terrestres*.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2009b). *Manejo Integrado de Ecosistemas en 3 Ecoregiones Prioritarias*.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2015a). *Programa Anual Operativo Cuenca Alimentadora del Distrito Nacional de Riego 043 Estado de Nayarit: porcion Chalchihuites-Jiménez de Teul-Valparaíso-Rio Atengo, Zacatecas y Durango porcion Valparaíso, Zacatecas*.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2015b). *Resolución sobre las cifras oficiales correspondientes a las superficies de las Áreas Naturales Protegidas de competencia federal en México Versión 1.0*.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2014). *Inventario Estatal Forestal y de Suelos Zacatecas* (1st ed.). <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1227/NEU.0b013e3181ee33e2>
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2015). *Inventario Nacional Forestal y de Suelos. Procedimientos de muestreo*. Guadalajara, Jalisco, México.
- Congalton, R. G., & Green, K. (2010). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. In *The Photogrammetric Record* (2nd ed., Vol. 25). https://doi.org/10.1111/j.1477-9730.2010.00574_2.x
- Congedo, L. (2016). *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>

- Cottam, G., & Curtis, J. T. (1956). The Use of Distance Measures in Phytosociological Sampling. *Ecology*, 37(3), 451–460.
<https://doi.org/10.2307/1930167>
- Curtis, J. T., & McIntosh, R. P. (1950). The Interrelations of Certain Analytic and Synthetic Phytosociological Characters. *Ecology*, 31(3), 434–455.
<https://doi.org/10.2307/1931497>
- Deguignet, M., Juffe-Bignoli, D., Harrison, J., MacSharry, B., Burgess, N., & Kingston, N. (2014). *2014 United Nations List of Protected Areas*. Retrieved from
https://wdpa.s3.amazonaws.com/WPC2014/2014_UN_LIST_REPORT_EN.pdf
- Domínguez-Cervantes, E. (2009). Conectividad biológica y social. Zonas de influencia de las áreas naturales protegidas. In *Corredor Biológico Mesoamericano México* (1st ed.). México, D. F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Encina Domínguez, J. A., Zárate Lupercio, A., Estrada Castellón, E., Valdés Reyna, J., & Villarreal Quintanilla, J. Á. (2009). Composición y aspectos estructurales de los bosques de encino de la Sierra de Zapalinamé, Coahuila, México. *Acta Botanica Mexicana*, 108(86), 71.
<https://doi.org/10.21829/abm86.2009.1078>
- Fan, F., Weng, Q., & Wang, Y. (2007). Land Use and Land Cover Change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, Based on Landsat TM /ETM+ Imagery. *Sensors*, 7(7), 1323–1342. <https://doi.org/10.3390/s7071323>
- Figueroa, F., & Sánchez-Cordero, V. (2008). Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 17(13), 3223–3240. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9423-3>
- Fisher, P., & Unwin, D. J. (Eds.). (2005). *Re-presenting GIS*. Chichester, England: John Wiley & Sons.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1996). *Forest Resource Assessment Programme 1990, Survey of Tropical Forest Cover*

and Study of Change Processes.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1997).

Zonificación agro-ecológica Guía general. *Boletín de Suelos de La FAO*, Vol. 73, p. 96. Rome.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2012). Terms and Definitions. In *Forest resources Assessment Working Paper 180*.

<https://doi.org/10.1002/2014GB005021>

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016). Map Accuracy Assessment and Area Estimation. A Practical Guide. In *National forest monitoring assessment working paper*. Rome.

Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1), 185–201.

[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4)

Gaines, W. L., Harrod, R. J., & Lehmkuhl, J. F. (1999). *Monitoring Biodiversity : Quantification and Interpretation*.

Gandhi, G. M., Parthiban, S., Thummalu, N., & Christy, A. (2015). Ndzi:

Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and Gis - A Case Study of Vellore District. *Procedia Computer Science*, 57, 1199–1210.

<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415>

García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen* (5th ed.). México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

García, M. A., Treviño-Garza, E. J., Cantú Ayala, C. M., & González-Saldívar, F. N. (1999). Zonificación ecológica del cerro “El Potosí”, Galeana, Nuevo León, México. *Investigaciones Geográficas*, 38, 10.

Global Forest Inventories Observations Initiative (GFOI). (2013). Integrating remote-sensing and ground-based observations for estimation of emissions and removals of greenhouse gases in forests: Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative. In *Group on Earth Observations*. Geneva, Switzerland: Group on Earth Observations.

Gómez, C., White, J. C., & Wulder, M. A. (2016). Optical remotely sensed time

- series data for land cover classification: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 116, 55–72.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.03.008>
- González Medrano, F. (2004). *Las comunidades vegetales de México* (2nd ed.). México, D. F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- GRASS Development Team, 2017. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, V. 7. 2. O. S. G. F. (2018). *GRASS GIS*. Retrieved from <https://grass.osgeo.org/>
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, Vol. 4, p. 9. Retrieved from http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Inamdar, A., De Jode, H., Lindsay, K., & Cobb, S. (1999). Capitalizing on nature: Protected area management. *Science*, 283(5409), 1856–1857.
<https://doi.org/10.1126/science.283.5409.1856>
- Iñiguez-Dávalos, L. I., Jiménez, C. L., Sosa, J., & Ortega-Rubio, A. (2014). Categorías de las áreas naturales protegidas en México y una propuesta para la evaluación de su efectividad. *Investigación y Ciencia de La Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 60, 65–70.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1997a). *Ortofoto Digital F13B66A Escala 1:20 000 (Ermita de Guadalupe) con Resolución de 2.0 Metros*. Retrieved from <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463438854>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1997b). *Ortofoto Digital F13B66B Escala 1:20 000 (Ermita de Guadalupe) con Resolución de 2.0 Metros*. Retrieved from <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463438861>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1997c). *Ortofoto Digital F13B66D Escala 1:20 000 (Ermita de Guadalupe) con Resolución de 2.0 Metros*. Retrieved from

<http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463438885>
 Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1997d). *Ortofoto Digital F13B66E Escala 1:20 000 (Ermita de Guadalupe) con Resolución de 2.0 Metros*. Retrieved from

<http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463438892>
 Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2001). *Uso de suelo y vegetación, escala 1:250,000, serie II (continuo nacional)*. Aguascalientes, México: Dirección General de Geografía y Medio Ambiente, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2002). *Conjunto de datos vectoriales de la carta topográfica. Escala 1:50 000. (Ermita de Guadalupe)*. Retrieved from

<http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825702540>
 Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2005). *Uso de suelo y vegetación, escala 1:250,000, serie III (continuo nacional)*. Aguascalientes, México: Dirección General de Geografía y Medio Ambiente, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2009). *Uso de suelo y vegetación, escala 1:250,000, serie IV (continuo nacional)*. Aguascalientes, México: Dirección General de Geografía y Medio Ambiente, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013). *Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación Serie V: Escala 1:250,000*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). *Conjunto de datos vectoriales edafológico Serie II: Escala 1:250,000 (Continuo Nacional)*. Retrieved from

http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/eda250s2gw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no%0A
 Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). *Conjunto de datos*

- vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 serie III (Ermita de Guadalupe)*. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016a). *Carta topográfica F13B66 Escala 1:50,000 (Ermita de Guadalupe)*. Aguascalientes, México: Dirección General de Geografía y Medio Ambiente, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016b). Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación Serie VI: Escala 1:250,000. *INEGI*, p. 1. Aguascalientes, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2018). Quiénes somos. Retrieved October 24, 2018, from http://www.beta.inegi.org.mx/inegi/quienes_somos.html
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), & Instituto Nacional de Ecología (INE). (1997). *Uso del suelo y vegetación, escala 1:250,000, serie I (continuo nacional)*. Aguascalientes, México: Dirección de Ordenamiento Ecológico General e Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
- Japan Association on Remote Sensing [JARS]. (1993). Remote Sensing Note. Retrieved October 24, 2018, from http://www.jars1974.net/pdf/rsnote_e.html
- Jones, M. E. (1935). Contributions to Western Botany. *Contributions to Western Botany*, (18).
- Kovacs, J. M., Zhang, C., & Flores-verdugo, F. J. (2008). Mapping the condition of mangroves of the Mexican Pacific using C-band ENVISAT ASAR and Landsat optical data. *Ciencias Marinas*, 34, 407–418.
- Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., ... Xu, J. (2001). The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, 11(4), 261–269. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00007-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00007-3)
- Land Processes Distributed Archived Center [LP DAAC]. (2018). USGS

- EarthExplorer |. Retrieved October 24, 2018, from https://lpdaac.usgs.gov/data_access/usgs_earthexplorer
- Lanza, G. de la, Ramírez-García, P., Thomas, Y. F., & Alcántara, A. R. (1993). La vegetación de manglar en la laguna de términos, Campeche. Evaluación preliminar a través de imágenes Landsat. *Hidrobiología*, Vol 3(1–2, noviembre), 29–39.
- Larson, R., & Farber, B. (2012). *Elementary Statistics: Picturing the world* (Fifth Edit). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- LGDFS. (2018, June 5). Ley General De Desarrollo Forestal Sustentable. *Diario Oficial de La Federación (DOF)*.
- LGEEPA. (2012, June 4). Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. *Diario Oficial de La Federación (DOF)*.
- Li, M., Zang, S., Zhang, B., Li, S., & Wu, C. (2014). A review of remote sensing image classification techniques: The role of Spatio-contextual information. *European Journal of Remote Sensing*, 47(1), 389–411. <https://doi.org/10.5721/EuJRS20144723>
- Liu, J., Linderman, M., Ouyang, Z., An, L., Yang, J., & Zhang, H. (2001). Ecological degradation in protected areas: The case of Wolong nature reserve for giant pandas. *Science*, 292(5514), 98–101. <https://doi.org/10.1126/science.1058104>
- López-Vázquez, V. H., Balderas-Plata, M. Á., Chávez Mejía, M. C., Juan-Pérez, J. I., & Gutiérrez-Cedillo, J. G. (2015). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. *CIENCIA Ergo-Sum*, 22(2), 136–144.
- Lozano, I. (2012). Ejidos y comunidades: ¿cuarto nivel de gobierno? *Documentos de Trabajo Del CIDE*, Vol. 268, pp. 1–18. México, D. F.: Centro de Investigación y Docencia Económicas A.C.
- Madrid, L., Núñez, J. M., Quiroz, G., & Rodríguez, Y. (2009). La propiedad social forestal en México. *Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública*, 1(2), 179–196.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity* (1st ed.). Blackwell

Science.

Margules, C. R., & Pressey, R. L. (2000). Systematic conservation planning. *Nature*, 405(May), 243–253.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/35012251>

Mas, J. F. (2005). Assessing protected area effectiveness using surrounding (buffer) areas environmentally similar to the target area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 105(1–3), 69–80.

<https://doi.org/10.1007/s10661-005-3156-5>

Mather, P. M., & Koch, M. (2011). *Computer processing of remotely-sensed images. An introduction* (4th ed.).

<https://doi.org/10.1080/10106048709354125>

Melo-Gallegos, C. (2002). *Areas naturales protegidas de México en el siglo XX. Temas selectos de Geografía de México*. México, D. F.: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis*. Retrieved from

<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.354.aspx.pdf>

Mueller-Dombois, D., & Ellenberg, H. (1974). *Aims and methods of Vegetation Ecology*. Retrieved from

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0304374675900177>

Muñoz-Villers, L. E., & López-Blanco, J. (2008). Land use/cover changes using Landsat TM/ETM images in a tropical and biodiverse mountainous area of central-eastern Mexico. *International Journal of Remote Sensing*, 29(1), 71–93. <https://doi.org/10.1080/01431160701280967>

Myneni, R. B., Hall, F. G., Sellers, P. J., & Marshak, A. L. (1995). Interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 33(2), 481–486. <https://doi.org/10.1109/36.377948>

Nagendra, H., Lucas, R., Honrado, J. P., Tarantino, C., Adamo, M., & Mairota, P. (2013). Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats. *Ecological Indicators*, 33, 45–59.

<https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2012.09.014>

- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (2011). *Landsat 7 Science Data Users Handbook*. Retrieved from https://landsat.gsfc.nasa.gov/wp-content/uploads/2016/08/Landsat7_Handbook.pdf
- Navalgund, R. R., Jayaraman, V., & Roy, P. S. (2007). Remote sensing applications: An overview. *Current Science*, 93(12).
- Noiret, O. (2016). Les smartphones au service de la forêt. *Silva Belgica*, 10–14.
- Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, 148, 42–57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015>
- Olofsson, P., Foody, G. M., Stehman, S. V., & Woodcock, C. E. (2013). Making better use of accuracy data in land change studies: Estimating accuracy and area and quantifying uncertainty using stratified estimation. *Remote Sensing of Environment*, 129, 122–131. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.031>
- Osuna-Osuna, A. K., Díaz-Torres, J. de J., De Anda-Sánchez, J., Villegas-García, E., Gallardo-Valdez, J., & Davila-Vazquez, G. (2015). Evaluación de cambio de cobertura vegetal y uso de suelo en la cuenca del río Tecolutla, Veracruz, México; periodo 1994-2010. *Ambiente & Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 10(2), 350–362. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1539>
- Patil, M. B., Desai, C. G., & Umrikar, B. N. (2012). Image Classification Tool for Land Use / Land Cover Analysis : A Comparative Study of Maximum Likelihood. *International Journal of Geology, Earth, and Environmental Sciences*, 2(3), 189–196.
- Peng, J., Wu, J., Yin, H., Li, Z., Chang, Q., & Mu, T. (2008). Rural land use change during 1986-2002 in Lijiang, China, based on remote sensing and GIS data. *Sensors*, 8(12), 8201–8223. <https://doi.org/10.3390/s8128201>
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth,

- N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*, 20(9), 503–510. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>
- Phiri, D., & Morgenroth, J. (2017). Developments in Landsat land cover classification methods: A review. *Remote Sensing*, 9(9). <https://doi.org/10.3390/rs9090967>
- Pressey, B., Mccauley, D. J., Morgan, L., Possingham, H., White, L., Darling, E., & Jones, P. J. S. (2014). A to-do list for the world's parks Protect diverse. *Nature*, 515(7525), 28–31.
- QGIS Development Team (QGIS). (2018). *QGIS*. Retrieved from <https://qgis.org/es/site/>
- R Core Team. (2014). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Registro Agrario Nacional (RAN). (2018a). Datos Abiertos. Conjunto de datos. Retrieved October 25, 2018, from <http://datos.ran.gob.mx/conjuntoDatosPublico.php>
- Registro Agrario Nacional (RAN). (2018b). Ficha del Núcleo Agrario Comunidad El Chiquihuite. Retrieved October 24, 2018, from <http://www.ran.gob.mx/ran/index.php/sistemas-de-consulta/phina>
- Richards, J. A., & Jia, X. (2006). *Remote Sensing Digital Image Analysis An Introduction* (4th ed.). <https://doi.org/10.1007/3-540-29711-1>
- Richter, R., Kellenberger, T., & Kaufmann, H. (2009). Comparison of topographic correction methods. *Remote Sensing*, 1(3), 184–196. <https://doi.org/10.3390/rs1030184>
- Rodríguez Pérez, E. J. (2017). *Flora y vegetación de los cerros la Virgen y los Alamitos, en los municipios de Guadalupe y Zacatecas, Zacatecas, México*. Universidad Autónoma de Zacatecas.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México* (1ra Edició). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).
- Sánchez-Reyes, U. J., Niño-Maldonado, S., Barrientos-Lozano, L., & Treviño-Carreón, J. (2017). Assessment of land use-cover changes and

- successional stages of vegetation in the natural protected area altas cumbres, Northeastern Mexico, using landsat satellite imagery. *Remote Sensing*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/rs9070712>
- Secretaría de Agricultura y Ganadería. (1949, August 3). Decreto. *Diario Oficial de La Federación (DOF)*, p. 16.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002, November 7). Acuerdo Recategorización. *Diario Oficial de La Federación (DOF)*, p. 2.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). Reforma de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). *Diario Oficial de La Federación (DOF)*.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2015). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde. Edición 2015*. <https://doi.org/10.15713/ins.mmj.3>
- Secretaria Pro Tempore. (1998). *Zonificación ecologica-economica: una propuesta metodologica para la Amazonia*. Retrieved from http://www.otca.info/portal/admin/_upload/publicacoes/SPT-TCA-VEN-65.pdf
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (1997). *Carta Geológico-Minera Zacatecas F13-6 Escala 1:250,000 (Zacatecas, San Luis Potosí, Jalisco, Aguascalientes)*. Pachuca, Hidalgo: Servicio Geológico Mexicano (SGM).
- Singh, J. S., Singh, S. P., & Gupta, S. R. (2015). *Ecology, Environmental Science and Conservation*. S. Chand Publishing.
- Sloan, S. (2012). Historical tropical successional forest cover mapped with landsat mss imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 33(24), 7902–7935. <https://doi.org/10.1080/01431161.2012.703344>
- Soffianian, A., & Madanian, M. (2015). Monitoring land cover changes in Isfahan Province, Iran using Landsat satellite data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(8). <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4442-5>
- Stehman, S. V. (2011). Impact of sample size allocation when using stratified

- random sampling to estimate accuracy and area of land-cover change. *Remote Sensing Letters*, 3(2), 111–120.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1080/01431161.2010.541950>
- Stehman, S. V. (2013). Estimating area from an accuracy assessment error matrix. *Remote Sensing of Environment*, 132, 202–211.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.01.016>
- Strahler, A. H., Boschetti, L., Foody, G. M., Friedl, M. A., Hansen, M. C., Herold, M., ... Woodcock, C. E. (2006). *Global Land Cover Validation: Recommendations for Evaluation and Accuracy Assessment of Global Land Cover Maps*. Luxemburg.
- Trucíos-Caciano, R., Rivera-González, M., Delgado-Ramírez, G., Estrada-Ávalos, J., & Cerano-Paredes, J. (2013). Analysis of Land Use Change in San Cristóbal De Las Casas. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, XII(2), 45–50. <https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2012.06.021>
- Trucíos Caciano, R., Valenzuela Nuñez, L. M., Ríos Saucedo, J. C., Rivera González, M., & Estrada Ávalos, J. (2012). Cambio de uso de suelo en Coahuila y Durango. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, XI(2), 68–74. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545059002>
- Trucíos, R., Estrada, J., Cerano, J., & Rivera, M. (2011). Interpretación del cambio en vegetación y uso de suelo. *Terra Latinoamericana*, 29(4), 359–367.
- United States Geological Survey (USGS). (2007). *Divisions of Geologic Time-Major Chronostratigraphic and Geochronologic Units Fact Sheet*. Retrieved from http://www.nwrc.usgs.gov/lib/lib_sta.htm.
- United States Geological Survey (USGS). (2017). Landsat Surface Reflectance-derived Spectral Indices. In *Usgs*.
<https://doi.org/10.1080/1073161X.1994.10467258>
- United States Geological Survey (USGS). (2018a). Landsat Collections | Landsat Missions. Retrieved October 25, 2018, from <https://landsat.usgs.gov/landsat-collections>
- United States Geological Survey (USGS). (2018b). Landsat Processing Details |

- Landsat Missions. Retrieved October 26, 2018, from <https://landsat.usgs.gov/landsat-processing-details>
- United States Geological Survey (USGS). (2018c). *Product Guide. Landsat 4-7 Surface Reflectance (LEDAPS) Product*. Retrieved from https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/ledaps_product_guide.pdf
- United States Geological Survey (USGS). (2018d). What are the band designations for the Landsat satellites? Retrieved October 26, 2018, from <https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>
- United States Geological Survey (USGS). (2018e). Who We Are. Retrieved October 24, 2018, from <https://www.usgs.gov/about/about-us/who-we-are>
- Vázquez-Jiménez, R., Romero-Calcerrada, R., Ramos-Bernal, R., Arrogante-Funes, P., & Novillo, C. (2017). Topographic Correction to Landsat Imagery through Slope Classification by Applying the SCS + C Method in Mountainous Forest Areas. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(9), 287. <https://doi.org/10.3390/ijgi6090287>
- Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz Gallegos, J., Mayorga Saucedo, R., Alcántara, P., Castro, R., ... Palacio, J. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica*, 062, 21–37. <https://doi.org/10.4067/S0718-23762009000200004>
- Velázquez, A., Mas, J. F., Gallegos-Díaz, J. R., Mayorga-Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., ... Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica. Instituto Nacional de Ecología - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales*, (62), 21–37.
- Vieira, I. C. G., De Almeida, A. S., Davidson, E. A., Stone, T. A., Reis De Carvalho, C. J., & Guerrero, J. B. (2003). Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazônia. *Remote Sensing of Environment*, 87(4), 470–481. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2002.09.002>
- Villareal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., ...

- Umaña, A. M. (2004). *Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad*. (1st ed.). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Villaseñor, J. L. (2016). Catálogo de las plantas vasculares nativas de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 87(3), 559–902. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.06.017>
- Weng, Q., & Qihao, W. (2013). Introduction to Remote Sensing Systems, Data, and Applications. *Remote Sensing of Natural Resources*, (April), 3–20. <https://doi.org/doi:10.1201/b15159-3>
- Yim, J., Kwon, B. O., Nam, J., Hwang, J. H., Choi, K., & Khim, J. S. (2018). Analysis of forty years long changes in coastal land use and land cover of the Yellow Sea: The gains or losses in ecosystem services. *Environmental Pollution*, 241, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.05.058>
- Young, N. E., Anderson, R. S., Chignell, S. M., Vorster, A. G., Lawrence, R., & Evangelista, P. H. (2017). A survival guide to Landsat preprocessing. *Ecology*, 98(4), 920–932. <https://doi.org/10.1002/ecy.1730>

ANEXOS

GLOSARIO

Clasificación supervisada: “Es una técnica de procesamiento de imágenes que permite la identificación de materiales en una imagen, de acuerdo con sus firmas espectrales. Hay varios tipos de algoritmos de clasificación, pero el propósito general es producir un mapa temático de la cubierta terrestre” (Congedo, 2016).

EarthExplorer: “La herramienta USGS EarthExplorer (EE) brinda a los usuarios la capacidad de consultar, buscar y solicitar imágenes satelitales, fotografías aéreas y productos cartográficos de varias fuentes” (Land Processes Distributed Archived Center [LP DAAC], 2018).

Espectro electromagnético: “El sistema que clasifica, de acuerdo con la longitud de onda, toda la energía (desde una onda cósmica corta a una onda de radio larga) que se mueve, armónicamente, a la velocidad constante de la luz” (National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2011).

Firma espectral: La medida cuantitativa de las propiedades de un objeto en uno o varios intervalos de longitud de onda. Las técnicas de análisis de firma

espectral utilizan la variación en la reflectancia espectral o la emisión de objetos como un método para identificar los objetos (NASA, 2011).

Índice espectral: Son operaciones entre bandas espectrales que son útiles para extraer información como la cubierta vegetal (Japan Association on Remote Sensing [JARS], 1993).

Satélites Landsat: Landsat es un conjunto de satélites multispectrales desarrollado por la National Aeronautics and Space Administration (NASA) (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de EE. UU.), desde principios de los años 70. Las imágenes Landsat son utilizadas para la investigación ambiental. Un vasto archivo de imágenes está disponible gratuitamente en el Servicio Geológico de los Estados Unidos. Las imágenes se identifican con las rutas y filas del WRS (Sistema de referencia mundial para Landsat) (Congedo, 2016).

Muestreo estratificado aleatorio: Consisten en la división de la población en estratos, que comparten una característica similar. Una muestra es entonces seleccionada al azar de cada uno de los estratos. El uso de una muestra estratificada asegura que cada segmento de la población esté representado (Larson & Farber, 2012).

QGIS: Es un Sistema de Información Geográfica de código abierto (QGIS Development Team (QGIS), 2018)

SIG: Son sistemas que permiten el uso de información geográfica (datos que tienen coordenadas espaciales). Permiten la visualización, consulta, cálculo y análisis de datos espaciales, que se distinguen principalmente en estructuras de datos ráster o vectoriales. El vector está formado por objetos que pueden ser puntos, líneas o polígonos, y cada objeto puede tener uno o más valores de

atributo; un ráster es una cuadrícula (o imagen) donde cada celda tiene un valor de atributo (Fisher & Unwin, 2005).

Radiancia: La radiancia corresponde al brillo en una dirección dada hacia el sensor (Congedo, 2016).

Reflectancia: La reflectancia se puede definir como la relación entre la energía reflejada y la energía total (Congedo, 2016).

Sensor remoto: Son dispositivos que se pueden encontrar a bordo de satélites, midiendo la radiación electromagnética en rangos específicos. Como resultado, las medidas se cuantifican y se convierten en una imagen digital, donde cada elemento de la imagen tiene un valor discreto en unidades de Número Digital (DN) (NASA, 2011).

ACRONIMOS

GRASS: Es el acrónimo de Geographic Resources Analysis Support System (Sistema de Soporte de Análisis de Recursos Geográficos), el cual es un “Sistema de Información Geográfica usado para el manejo y análisis de datos geoespaciales, procesamiento de imágenes, producción de gráficos/mapas, modelado espacial y visualización” (Geographic Resources Analysis Support System [GRASS], 2018).

INEGI: Acrónimo para Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Es un organismo público autónomo responsable de normar y coordinar el Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica, así como de captar y difundir información de México en cuanto al territorio, los recursos, la población y economía, que permita dar a conocer las características del país y sirva como ayuda en la toma de decisiones (Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2018).

SCP: Acrónimo de Semiautomatic Classification Plugin. Es un complemento de código abierto para QGIS que permite realizar la clasificación supervisada de imágenes obtenidas a través de percepción remota. Provee de distintas herramientas para la descarga de imágenes gratuitas, así como su procesamiento, postprocesamiento y el cálculo de archivos ráster (Congedo, 2016).

USGS: Acrónimo para United States Geological Survey (Servicio Geológico de los Estados Unidos), es una agencia de ciencia para el Departamento del Interior de Estados Unidos. Cuentan con información vasta sobre la tierra y datos biológicos (United States Geological Survey (USGS), 2018e).